NB

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКЦИЯ ОРУДИЙ И БОЕПРИПАСОВ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

УПРАВЛЕНИЕ КОМАНДУЮЩЕГО РАКЕТНЫМИ ВОЙСКАМИ
И АРТИЛЛЕРИЕЙ СУХОПУТНЫХ ВОЙСК

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКЦИЯ ОРУДИЙ И БОЕПРИПАСОВ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Утвержден командующим ракетными войсками и артиллерией Сухопутных войск в качестве учебника для слушателей Военной артиллерийской академии имени М. И. Калинина и курсантов высших артиллерийских командных училищ

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1976

Учебник предназначен для слушателей Военной артиллерийской академии им. М. И. Калинина, курсантов высших артиллерийских командных училищ и может служить пособием для офицеров-артиллеристов при изучении ими вопросов устройства и эксплуатации современных артиллерийских орудий.

Учебник состоит из введения и трех разделов: «Основные сведения из внутренней баллистики», «Основания устройства и конструкция боеприпасов», «Основания устройства и конструкция артиллерийских орудий».

В разделе «Основные сведения из внутренней баллистики» излагаются вопросы пиростатики, пиродинамики, решения основной задачи внутренней баллистики и поправочных формул; в разделе «Основания устройства и конструкция боеприпасов» — вопросы классификации, требований и конструкции основных элементов артиллерийских выстрелов; в разделе «Основания устройства и конструкция артиллерийских орудий» — вопросы классификации, требований, конструкции, расчета и эксплуатации узлов и механизмов, устойчивости и неподвижности орудия при выстреле, особенности конструкции самоходных артиллерийских орудий.

Учебник написан доцентами, кандидатами технических наук А. С. Клочковым («Введение», гл. 10, 11, 14, 15, 17, 18 и 19, § 3 гл. 16), Н. Н. Корольковым (гл. 16 без § 3 и 4), В. Я. Музыченко (§ 4 гл. 16), Е. В. Чурбановым (гл. 1—9) и В. Д. Николаенко (гл. 12 и 13) под общей редакцией кандидата технических наук Королькова Н. Н.

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА И ДЕЙСТВИЯ ОРУДИЯ

Артиллерийские орудия предназначены для уничтожения живой силы и средств ядерного нападения противника, его огневых

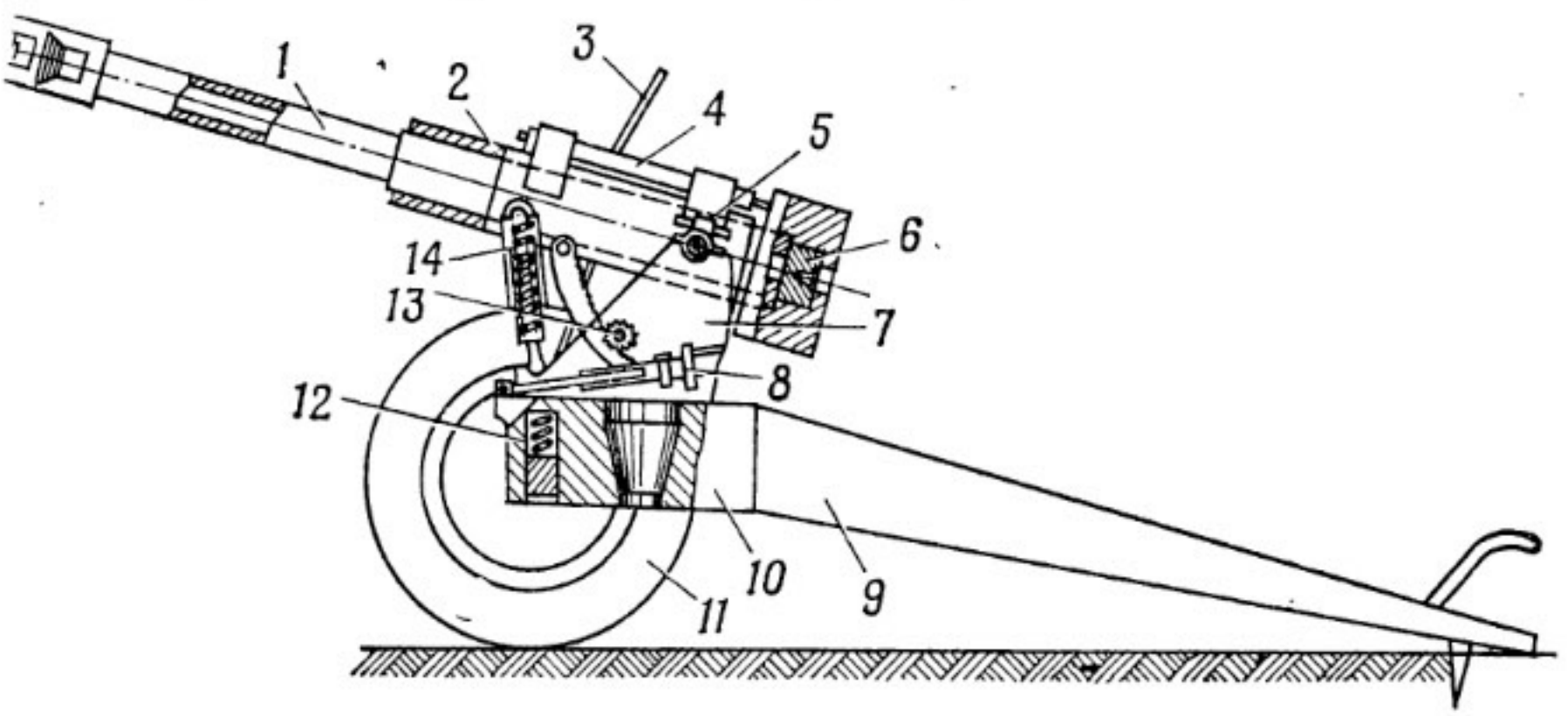


Рис. 1. Артиллерийское орудие:

1 — ствол; *2* — люлька; *3* — щит; *4* — противооткатные устройства; *5* — прицельные приспособления; *6* — затвор; *7* — верхний станок; *8* — поворотный механизм; *9* — станины; *10* — нижний станок; *11* — ходовая часть; *12* — механизм подрессоривания; *13* — подъемный механизм; *14* — уравновешивающий механизм

средств, боевой техники, а также для разрушения различных сооружений.

Артиллерийское орудие представляет собой (рис. 1) сложную машину, в которой происходит преобразование химической энергии боевого заряда в кинетическую энергию снаряда.

Орудие состоит из двух основных узлов — ствола *1* с затвором и лафета.

Ствол орудия — это устройство, в котором происходит преобразование химической энергии боевого заряда в кинетическую энергию снаряда и которое направляет полет снаряда с определенной начальной скоростью поступательного и вращательного движения.

Химическая энергия боевого заряда преобразуется в кинетическую энергию снаряда по следующей схеме: сгорание пороха при-

водит к образованию в канале ствола газов высокого давления, под действием которых снаряд, заряд и ствол получают определенную скорость поступательного движения.

Вращательное движение снаряду сообщается с помощью ведущего пояска снаряда и винтовых нарезов канала ствола.

Затвор предназначен для надежного запирания канала ствола при выстреле.

Лафет орудия, как правило, состоит из противооткатных устройств *4*, люльки *2*, верхнего станка *7* с подъемным *13*, поворотным *8* и уравновешивающим *14* механизмами, нижнего станка *10* со станинами *9*, ходовой части *11*, механизма подрессоривания *12*, прицельных приспособлений *5*, щитового прикрытия *3* и вспомогательного оборудования.

Противооткатные устройства *4* обеспечивают упругое соединение ствола с лафетом и служат для уменьшения сил, действующих на лафет при выстреле, торможения откатных частей при откате и накате, возвращения их в положение до выстрела и удержания их в этом положении при любом угле возвышения, допускаемом орудием.

Благодаря противооткатным устройствам максимальная сила воздействия выстрела на лафет уменьшается в 30—40 раз. В результате сравнительно просто обеспечиваются устойчивость и неподвижность орудий при стрельбе и повышается скорострельность. Кроме того, наличие противооткатных устройств позволяет существенно уменьшить вес лафета и увеличить его живучесть.

Люлька *2* предназначена для направления движения ствола при откате и накате, а также для соединения лафета с противооткатными устройствами. Люлька служит опорой, по которой скользит ствол при откате и накате. Кроме того, она сохраняет положение ствола после выстрела, которое ему придали во время наведения. Цапфами люлька опирается на верхний станок и с помощью подъемного механизма может поворачиваться в вертикальной плоскости вместе со стволом и противооткатными устройствами. При этом изменяется угол возвышения.

Ствол, противооткатные устройства, люлька и закрепленные на них механизмы и детали составляют **качающуюся часть орудия.**

Верхний станок *7* служит для размещения на нем качающейся части орудия, механизмов наведения, уравновешивающего механизма и щита. Соединение верхнего станка с нижним позволяет верхнему станку вращаться вокруг вертикальной оси относительно нижнего, изменяя направление стрельбы.

Подъемный механизм *13* предназначен для придания стволу орудия углов возвышения и склонения. Сущность работы механизма заключается в том, что с помощью привода и кинематических звеньев качающаяся часть орудия вращается в вертикальной плоскости относительно оси цапф люльки.

Поворотный механизм *8* предназначен для придания стволу углов горизонтального наведения. Сущность его работы состоит в том, что с помощью привода и кинематических звеньев обеспечи-

вается вращение станка с качающейся частью в горизонтальной плоскости относительно нижнего станка.

Уравновешивающий механизм *14* служит для уравновешивания качающейся части орудия относительно оси цапф люльки, облегчая этим самым работу подъемного механизма. Силу, которая образует момент уравновешивания, создает или пружина, или сжатый газ.

Нижний станок *10* со станинами *9* является основанием вращающейся части орудия. К вращающейся части орудия относится верхний станок со всеми закрепленными на нем механизмами и устройствами. Станины обеспечивают устойчивость и неподвижность орудия при выстреле, так как при боевом положении орудия их разводят и упирают сошниками в грунт.

Ходовая часть *11* предназначена для транспортирования орудия тягачом. У некоторых орудий она используется как опора орудия при стрельбе, в этом случае ее называют боевым ходом.

Прицельные приспособления *5* предназначены для построения прицельных углов и обеспечения наведения орудия в цель. Как правило, современные орудия имеют механические и оптические прицелы.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРУДИЯ

Показателем совершенства конструкции и боевой мощи орудия являются его характеристики. К основным характеристикам орудия относятся калибр орудия, наибольшая дальность стрельбы, начальная скорость снаряда, масса орудия в боевом положении, углы горизонтального и вертикального наведения, дульная энергия, коэффициент использования металла, коэффициент могущества.

Калибр орудия d, мм — это расстояние между противоположными полями канала ствола, измеренное по диаметру. Калибр — важная конструктивная характеристика орудия; по ней судят о могуществе орудия.

Наибольшая дальность стрельбы X_{max}, м — важная тактико-техническая характеристика орудия. Ее величина определяется назначением орудия и зависит в основном от массы, формы, размеров и начальной скорости снарядов и угла возвышения ствола.

Начальная скорость снаряда v_0, м/с — это скорость, с которой снаряд начинает движение в пространстве в предположении, что при истечении пороховые газы не действуют на снаряд. Величина ее зависит от конструктивных и баллистических характеристик орудия и боеприпасов.

Масса орудия в боевом положении $M_б$, кг, характеризует маневренность и подвижность орудия. Масса орудия в основном определяется калибром, начальной скоростью, массой снаряда и конструкцией орудия.

Углы горизонтального ϕ и вертикального φ наведения являются характеристиками маневренности огня орудия и определяются крайними положениями ствола в вертикальных и горизонтальных плоскостях без изменения положения орудия.

Дульная энергия $E_д = \frac{qv_0^2}{2}$, Дж — кинетическая энергия поступательного движения снаряда массой q в момент его вылета из канала ствола. Величина дульной энергии при оценке орудия рассматривается как сравнительная характеристика его могущества. При расчете $E_д$ вращательное движение снаряда не учитывается.

Коэффициент использования металла $\eta = \frac{E_д}{M_б}$, $\frac{Дж}{кг}$, является характеристикой совершенства конструкции орудия. Он показывает, какое количество энергии приходится на 1 кг массы орудия, т. е. на 1 кг металла. Чем совершеннее орудие, тем больше коэффициент использования металла. Для современных орудий η = =1600—2000 Дж/кг.

Коэффициент могущества орудия C_E, Дж/дм^3, выражает отношение дульной энергии к кубу калибра, т. е.

$$C_E = \frac{E_д}{d^3}.$$

Коэффициент могущества показывает, какое количество энергии приходится на условную единицу объема канала ствола при подобном устройстве орудия. В силу этого у орудий различных калибров, но подобных и одинаково устроенных и с одинаковыми начальными скоростями будет равное значение коэффициента могущества. Он является важной баллистической характеристикой орудия, и при проектировании нового орудия его обычно принимают за исходную величину.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АРТИЛЛЕРИЙСКИМ ОРУДИЯМ

Артиллерийские орудия наземной артиллерии классифицируют по следующим основным признакам:

— по калибру;
— по способу передвижения;
— по типу орудия;
— по целевому назначению.

В зависимости от калибра различают орудия малого калибра (20—75 мм), среднего калибра (76—152 мм) и крупного калибра (больше 152 мм).

По способу передвижения орудия подразделяют на самоходные, самодвижущиеся и буксируемые.

Самоходные орудия характеризуются высокой подвижностью, живучестью на поле боя и быстротой перехода из походного положения в боевое. Недостатком их является сложность конструкции и эксплуатации.

Самодвижущиеся орудия имеют на лафете двигатель, который обеспечивает самостоятельное передвижение орудия на короткие расстояния.

Буксируемые орудия перемещаются артиллерийским тягачом. По сравнению с самоходными орудиями они отличаются простотой конструкции и эксплуатации.

По типу орудия делят на пушки, гаубицы, минометы и безоткатные орудия.

Пушки — это орудия, сообщающие снаряду большую начальную скорость (700—1500 м/с) и имеющие небольшое количество боевых зарядов; стволу пушек можно придавать угол возвышения, как правило, не более 45°. Траектория снаряда пушек настильная.

Гаубицы — это орудия, сообщающие снаряду относительно небольшую начальную скорость (300—700 м/с) и имеющие большое количество боевых зарядов; стволу их можно придавать угол возвышения больше 45°.

Существуют также орудия промежуточного типа — пушки-гаубицы и гаубицы-пушки. Название орудия зависит от того, какие свойства у него преобладают.

Минометы — это орудия, ствол которых в боевом положении опирается на плиту, установленную на грунте, и может иметь угол возвышения 45° и больше. Стрельба из миномета производится, как правило, оперенными снарядами-минами.

Безоткатные орудия — это орудия, стволы которых в казенной части имеют сопла для выхода газов в сторону, противоположную движению снаряда. При этом сила отдачи уравновешивается реактивной силой газов, выбрасываемых из сопла, и ствол орудия остается при выстреле неподвижным.

При разделении орудий по целевому назначению обычно выделяют в особую группу противотанковые орудия, которые предназначаются в основном для стрельбы прямой наводкой по танкам и другим бронированным целям. Кроме того, существуют орудия, предназначенные для действий в горах (горная пушка).

При создании новых артиллерийских орудий к ним предъявляются требования, устанавливающие их боевые и эксплуатационные свойства. При этом обязательно учитывается опыт боевого применения подобных образцов, производственные возможности, достижения науки и техники и т. п. Следовательно, количество и содержание требований к артиллерийским орудиям непрерывно менялись в соответствии с общим развитием производительных сил страны, способов ведения войны, военной науки и техники.

Различают три вида требований: боевые, служебные и производственно-экономические.

Боевые требования являются определяющими, подчиняющими все остальные виды требований.

К основным боевым требованиям относятся следующие:

— могущество боевого действия;

— маневренность;
— живучесть.

Под могуществом боевого действия понимаются:
— могущество действия снаряда по цели;
— наибольшая дальность стрельбы;
— кучность боя;
— скорострельность.

Могущество действия снаряда по цели оценивается эффективностью его действия у цели. Для поражения разнообразных целей применяются снаряды различных типов, поэтому для оценки эффективности их действия используют различные количественные характеристики. Так, эффективность фугасных снарядов определяется в основном объемом грунта, выброшенного при разрыве; осколочных снарядов — количеством убойных осколков, площадью зоны поражения; бронебойных снарядов — толщиной пробиваемой брони и т. д.

Исходя из необходимого могущества действия снарядов по цели устанавливают калибр, тип орудия и снаряда, начальную скорость снаряда. Для повышения универсальности действия орудия к нему создаются различные типы снарядов. Например, для противотанковых орудий кроме бронебойных снарядов, предназначенных для борьбы с бронированными целями, создают и осколочно-фугасные, которые служат для борьбы с живой силой противника и для выполнения других боевых задач.

Наибольшая дальность стрельбы должна обеспечивать выполнение боевой задачи на всю глубину обороны противника и маневр траекториями без смены огневых позиций, что весьма важно для массирования огня в условиях рассредоточенного расположения боевых порядков артиллерии. Увеличение дальности стрельбы связано с возрастанием веса и габаритов орудия, поэтому величина наибольшей дальности стрельбы конкретизируется в зависимости от задач, возлагаемых на артиллерию данного вида. У противотанковых, танковых и некоторых других видов орудий наибольшая дальность стрельбы не является определяющим требованием, так как у них основной вид стрельбы — стрельба прямой наводкой. Для этих орудий более важным требованием является дальность прямого выстрела.

Кучность боя — это свойство орудия и боеприпасов, обеспечивающее возможность группировать точки падения снаряда на малой площади. Чем меньше площадь, на которой распределяются точки падения снарядов при стрельбе на одних и тех же установках прицела, т. е. чем лучше кучность боя, тем быстрее и с меньшим расходом снарядов можно поразить цель. Кучность боя орудий обычно выражают отношением вероятного отклонения по дальности и по направлению ($Вд$, $Вб$) к дальности стрельбы X. Чем меньше это отклонение, тем лучше кучность боя орудия. Для современных орудий

$$\frac{Вд}{X} = \frac{1}{250} \div \frac{1}{500}; \quad \frac{Вб}{X} = \frac{1}{300} \div \frac{1}{2000}.$$

Кучность боя зависит от качества орудия и боеприпасов, от правильного обращения с ними во время стрельбы и от условий стрельбы. Для улучшения кучности боя увеличивают точность изготовления ствола, снарядов и боевых зарядов, повышают устойчивость снаряда на полете за счет увеличения скорости его вращения. Для уменьшения рассеивания снарядов необходимо строго выполнять требования руководств служб по эксплуатации орудий и боеприпасов. При этом особое внимание следует обратить на подготовку орудия к стрельбе, установку и закрепление его на огневой позиции, точность и однообразность наведения орудия, правильность подготовки боеприпасов к стрельбе.

Скорострельность характеризуется наибольшим количеством выстрелов, которые можно произвести в единицу времени из боеспособного орудия без исправления наводки. Скорострельность зависит от калибра, степени автоматизации и механизации орудия (автоматизация заряжания, открывания и закрывания затвора, производства выстрела), устойчивости орудия при стрельбе, а также от слаженности и четкости действий орудийного расчета.

Высокая скорострельность дает возможность выполнять боевые задачи с меньшим количеством орудий, улучшает эффективность поражения целей и позволяет обеспечивать массирование огня.

Под маневренностью понимаются подвижность орудия и его огневая маневренность.

Подвижность определяется скоростью и способностью передвижения орудия по различной местности, дорогам, водным преградам, а также возможностью перемещения железнодорожным, воздушным и водным транспортом.

Улучшение подвижности орудий обеспечивается созданием самоходных, плавающих орудий, применением ходовых частей с подрессориванием и демпфированием, уменьшением веса орудия. Подвижность современных орудий должна быть не ниже подвижности войск, с которыми они будут совместно действовать.

Огневая маневренность орудия слагается из быстроты открытия огня и способности вести огонь с одной огневой позиции без поворота станин в различных направлениях и на различные дальности, быстро переносить огонь с одной цели на другую и иметь различные углы падения снарядов на одних и тех же дальностях. Она зависит от наибольшей дальности стрельбы, величины секторов горизонтального и вертикального обстрелов, скорости наведения орудия и количества боевых зарядов в выстрелах.

Быстрота открытия огня зависит от скорости перевода орудия из походного положения в боевое, что в значительной степени определяется весом орудия и совершенством его конструкции.

Высокая огневая маневренность орудий позволяет внезапно для противника обрушить мощный огонь на его объекты.

Под живучестью понимается свойство орудия сохранять свою боеспособность возможно более продолжительный срок при различных условиях эксплуатации как в мирное, так и в военное

время. Живучесть ствола определяется количеством выстрелов, которое можно произвести из него на полном заряде до выхода его из строя. Живучесть ходовых частей орудия измеряется числом километров пробега до выхода их из строя.

Высокая живучесть артиллерийских орудий обеспечивается прочностью их деталей, неуязвимостью в бою, высокой маневренностью, точным соблюдением правил эксплуатации, установленных руководствами служб.

Неуязвимость орудий в бою обеспечивается:

— высокой маневренностью огня, т. е. быстротой открытия и точностью огня;

— постановкой бронещитов для непосредственной защиты узлов и механизмов орудия от огня противника;

— созданием орудий небольших габаритов.

Правильный выбор и хорошее оборудование огневых позиций также являются важным фактором, обеспечивающим неуязвимость орудий в бою.

К основным **служебным требованиям** относятся:

— безотказность действия механизмов в любых условиях эксплуатации;

— безопасность эксплуатации орудия;

— простота и удобство эксплуатации орудия;

— неподвижность и устойчивость орудия при стрельбе.

Безотказность действия механизмов в любых условиях эксплуатации достигается тем, что на вооружение принимают всесторонне проверенные теоретическими и экспериментальными исследованиями конструкции, в которых применены новейшие достижения науки и техники. Кроме того, безотказность эксплуатации орудия обеспечивается высокой прочностью наиболее ответственных деталей, наличием предохранительных механизмов и приспособлений и твердым знанием расчетом устройства и правил техники безопасности при обращении с орудием. Безотказность действия механизмов в большой степени зависит от правильной эксплуатации орудия, своевременного проведения его технического обслуживания и наличия ЗИП.

Безопасность эксплуатации орудия обеспечивается высокой прочностью наиболее ответственных деталей, например стенок ствола, наличием предохранительных механизмов, приспособлений и ограждений.

Простота и удобство эксплуатации орудий должны быть предусмотрены при всех видах эксплуатации: при стрельбе, при переводе орудий из походного положения в боевое и обратно, при подготовке его к стрельбе, при совершении марша, при техническом обслуживании, при консервации и расконсервации.

Удобства работы на орудии при стрельбе создают благоприятные условия для выполнения всех операций расчетом без физического и психического перенапряжения, способного вызвать быстрое утомление номеров расчета и, как следствие, снижение эффективности выполнения боевой задачи. Эти требования обеспе-

чиваются за счет улучшения конструкции орудия, компактного и удобного размещения на нем механизмов, механизации операций по заряжанию и разряжанию орудия.

Неподвижность и устойчивость орудия при стрельбе обеспечиваются наличием противооткатных устройств, качеством подготовки орудия к стрельбе и правильностью его крепления на огневой позиции. Если орудие устойчиво и неподвижно при стрельбе, то не сбивается наводка после выстрела, увеличиваются скорострельность и кучность боя, улучшаются условия для работы с орудием и исключается возможность появления несчастных случаев.

Основными **производственно-экономическими** требованиями являются:

— простота конструкции и технологии производства, позволяющая быстро освоить массовое производство и эксплуатацию орудий;

— взаимозаменяемость и стандартизация деталей, обеспечивающие экономичность и массовость производства, простоту ремонта орудий;

— применение материалов, изготовленных из отечественного недефицитного сырья.

Большая роль в уменьшении расходов на содержание артиллерийских орудий и боеприпасов принадлежит личному составу. Бережное обращение с орудиями и боеприпасами, строгое соблюдение правил их хранения и технического обслуживания намного увеличивают срок службы орудий (живучесть), уменьшают потери и расходы, связанные с ремонтом, обеспечивают безопасность стрельбы.

§ 4. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СОВЕТСКОЙ АРТИЛЛЕРИИ

История развития советской артиллерии неразрывно связана с историей развития нашего социалистического государства. Занимаясь строительством Вооруженных Сил, Коммунистическая партия и Советское правительство большое внимание уделяли становлению и развитию артиллерии.

В трудные годы гражданской войны снабжение войск артиллерийским вооружением производилось за счет восстановления старых орудий, использования трофейных образцов, а также производства новых орудий. Опыт гражданской войны и направление развития военной науки показали, что артиллерийские орудия, оставшиеся от старой армии, не удовлетворяли требованиям того времени. Однако последствия гражданской войны, военная интервенция и отсутствие артиллерийских кадров не позволили нашей стране сразу же после войны приступить к созданию новых образцов артиллерийских орудий. Учитывая экономическую трудность страны и необходимость вооружения армии новыми образцами орудий, Коммунистическая партия и Советское правительство приняли решение модернизировать лучшие по своим

тактико-техническим характеристикам орудия. Одновременно с этим проводилась большая работа по подготовке артиллерийских специалистов.

Коммунистическая партия предвидела, что создание советской артиллерии потребует научной разработки ряда важнейших проблем, касающихся как создания орудий, так и тактики артиллерии. Поэтому уже в первые годы Советской власти правительство проводило мероприятия по созданию центров научной артиллерийской мысли. Были созданы или возобновили работу Артиллерийский комитет, Комиссия особых артиллерийских опытов (КОСАРТОП), Центральный аэрогидродинамический институт, Главный артиллерийский полигон, Артиллерийская академия и другие организации.

В работе этих организаций принимали деятельное участие крупнейшие советские ученые академики А. Н. Крылов, П. П. Лазарев, профессора Н. Е. Жуковский, С. А. Чаплыгин, Г. А. Забудский, С. Г. Петрович, Н. Ф. Дроздов, И. П. Граве, В. П. Ветчинкин, а также инженеры В. И. Рдултовский, Ф. Ф. Лендер и др.

В результате проведенных партией и правительством мероприятий в Красной Армии с 1927 по 1930 г. была проведена модернизация артиллерийского вооружения и одновременно с этим создавались новые образцы орудий и боеприпасов.

Модернизация существенно улучшила основные тактико-технические характеристики орудий, и они в какой-то степени стали соответствовать новым требованиям. Например, дальность стрельбы модернизированных орудий увеличилась примерно в 1,5 раза за счет удлинения стволов, увеличения веса боевого заряда и создания снарядов улучшенной баллистики. Кроме того, модернизация артиллерийских орудий была своего рода практической школой, в которой воспитывались и создавались советские артиллерийские кадры. Из новых образцов артиллерийских орудий, разработанных и созданных в этот период, была 76-мм полковая пушка обр. 1927 г.

Успешное выполнение первого пятилетнего плана, развитие индустрии в стране, создание квалифицированных артиллерийских кадров позволили начать полное перевооружение нашей артиллерии новыми орудиями. Этого требовала и международная обстановка, которая после утверждения фашистского режима в Германии резко обострилась.

Коммунистическая партия и Советское правительство поставили перед артиллерийскими конструкторами задачу создать новые образцы артиллерийских орудий и боеприпасов, отвечающих требованиям того времени, предъявляемым к вооружению и военной технике.

Успешному решению этой задачи способствовали фундаментальные теоретические исследования и работы, выполненные советскими учеными и конструкторами.

Руководитель КОСАРТОП В. М. Трофимов написал важный труд «О производительности стрельбы», позволивший наметить

основные пути развития артиллерии. Конструктор Ф. Ф. Лендер написал ряд научных работ по исследованию действия выстрела на лафет артиллерийского орудия, по исследованию наката ствола и практических схем торможения наката и др. Работа И. И. Иванова «Основы расчета и проектирования лафетов» явилась первым систематизированным трудом по теории лафетов колесных орудий. Труд А. А. Толочкова «Действие выстрела на лафет» содержал ряд новых исследований, среди которых следует выделить метод расчета лафета с раздвижными станинами.

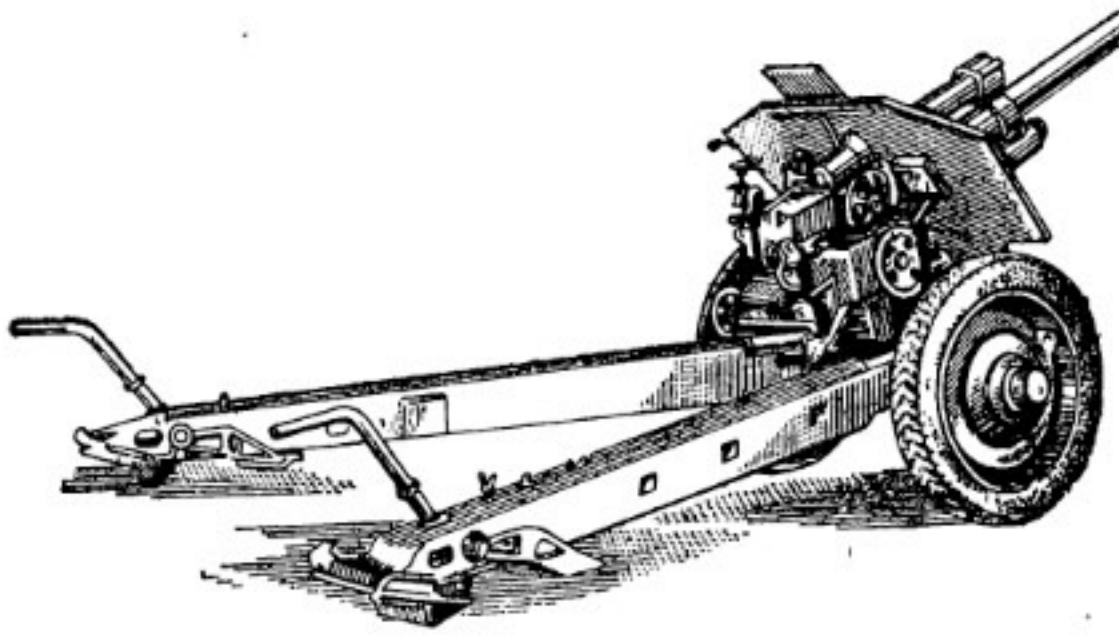


Рис. 2. 122-мм гаубица обр. 1938 г.

К началу Великой Отечественной войны наша артиллерия была полностью вооружена новыми первоклассными современными артиллерийскими орудиями, такими, как 45-мм противотанковая пушка обр. 1932/37 г., 76-мм пушка обр. 1939 г., 122-мм гаубица обр. 1938 г. (рис. 2), 152-мм гаубица обр. 1938 г., 122-мм пушка обр. 1931/37 г., 152-мм гаубица-пушка обр. 1937 г., 203-мм гаубица обр. 1931 г. и др. На вооружение поступили различного назначения снаряды, взрыватели, трубки, гильзы, пороха и ВВ.

Дальнобойность всех орудий увеличилась на 50—70%, значительно возросла их скорострельность, особенно противотанковых, увеличилось могущество снарядов. Все артиллерийские орудия по своим боевым качествам превосходили орудия армий капиталистических стран.

Наилучшим доказательством совершенства созданных артиллерийских орудий является факт сохранения многих из них на вооружении Советской Армии в течение всего периода войны.

Во время Великой Отечественной войны советская артиллерия была главной огневой силой нашей армии. В ходе войны непрерывно возрастала роль артиллерии, быстро росла потребность в орудиях как в количественном, так и в качественном отношении. Мысль советских конструкторов быстро отзывалась на все требования фронта с учетом нового, что вносила война в принципы боевого применения. Наши конструкторы и производственники овладели методами скоростного проектирования и поточного производства боеприпасов, орудий, снаряжения. Это позволяло за

несколько месяцев создавать и ставить на производство новые образцы и выпускать их в большом количестве. Примером таких орудий являются 76-мм пушка обр. 1942 г. (рис. 3, *а*), 152-мм гаубица обр. 1943 г. (рис. 3, *б*).

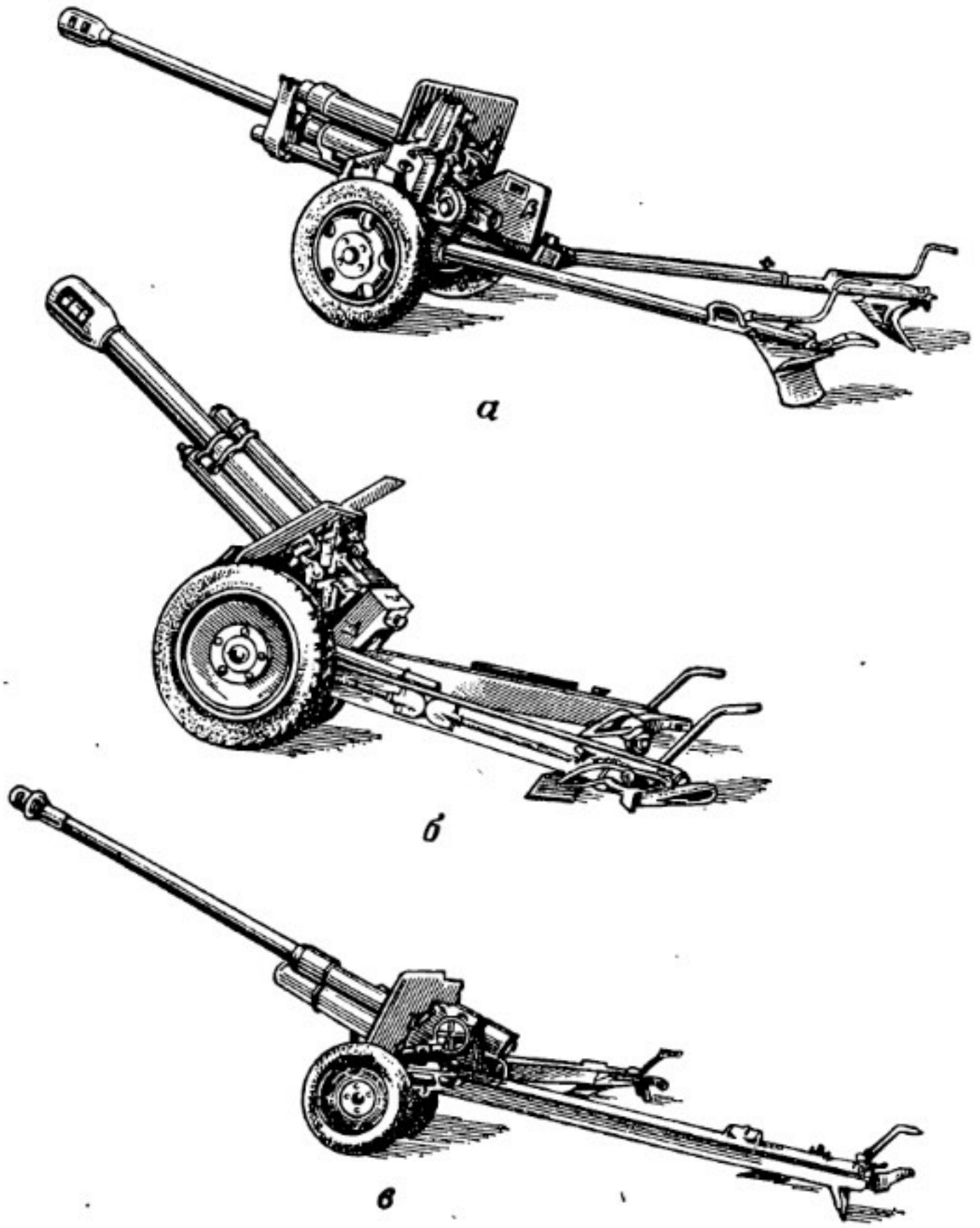


Рис. 3. Артиллерийские орудия:
а — 76-мм пушка обр. 1942 г.; *б* — 152-мм гаубица обр. 1943 г.; *в* — 100-мм пушка обр. 1944 г.

Применение противником танков с толщиной брони 100 мм и больше потребовало создания более мощной противотанковой артиллерии. С этой целью в 1943 г. была разработана и поступила на вооружение 100-мм полевая пушка обр. 1944 г. (рис. 3, *в*).

Во время войны почти вся артиллерия была переведена на механическую тягу, в результате этого резко возросла тактическая и оперативная подвижность артиллерии. Была создана и получила свое развитие самоходная артиллерия.

Армия в годы Великой Отечественной войны получила замечательную артиллерийскую технику, разработанную коллективами конструкторских бюро, которыми руководили выдающиеся

конструкторы артиллерийского вооружения, такие, как В. Г. Грабин, И. И. Иванов, Ф. Ф. Петров, Б. И. Шавырин, и конструкторы боеприпасов Е. А. Беркалов, А. А. Гартц, В. К. Пономарев, И. С. Бурмистров, Д. Н. Вишневский и др.

В послевоенное время благодаря мерам, предпринятым Коммунистической партией и Советским правительством, отечественная артиллерия сделала новый крупный шаг в своем развитии по сравнению с периодом Великой Отечественной войны.

Используя преимущества социалистической экономики, науки, техники, советские конструкторы, инженеры, техники и рабочие заводов оборонной промышленности, опираясь на опыт Великой Отечественной войны и учитывая современные требования к артиллерийскому вооружению, и сейчас создают лучшие в мире образцы артиллерийской техники.

Вдохновителем творческих дерзаний ученых, инженеров, конструкторов, рабочих — армии советских тружеников является Коммунистическая партия Советского Союза, уделяющая постоянное неослабное внимание укреплению обороноспособности нашей Родины.

РАЗДЕЛ I

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Внутренней баллистикой называется наука, изучающая движение снаряда внутри ствола орудия под действием газов, образующихся при горении порохового заряда. Слово «баллистика» происходит от греческого слова βαλλω, что в переводе означает «бросаю».

Внутренняя баллистика изучает движение снаряда от **момента начала движения** до **момента вылета,** когда дно снаряда проходит через дульный срез ствола. После вылета снаряда происходит истечение газов из канала ствола и воздействие их на снаряд в течение некоторого периода, называемого **периодом последействия.** Истечение газов из канала ствола минометов и безоткатных орудий протекает во время движения снаряда.

Горение пороха в постоянном объеме изучается в разделе внутренней баллистики, называемом **пиростатикой.** Горение пороха в переменном объеме при движении снаряда изучается в разделе внутренней баллистики, называемом **пиродинамикой.**

Разработка методов расчета элементов движения снаряда составляет содержание **основной задачи** внутренней баллистики.

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПИРОСТАТИКИ

§ 1.1. ЯВЛЕНИЕ ВЫСТРЕЛА

Движение снаряда по каналу ствола орудия сопровождается многочисленными процессами: механическими, физическими, химическими, термодинамическими и газодинамическими. Совокупность процессов, происходящих в орудии с момента воспламенения порохового заряда до момента окончания истечения газов из канала ствола после вылета снаряда, называется **явлением выстрела.** Явление выстрела включает в себя следующие процессы:

— воспламенение пороха;

— горение пороха;

— образование пороховых газов;
— изменение состава пороховых газов;
— расширение пороховых газов;
— поступательное движение снаряда;
— вращательное движение снаряда;
— движение пороховых газов;
— движение элементов порохового заряда;
— движение откатных частей орудия;
— врезание ведущих поясков снаряда в нарезы;
— трение ведущих частей снаряда о поверхность канала ствола;
— износ и разгар канала ствола;
— теплопередача от пороховых газов к стенкам ствола;
— упругие и пластические деформации ствола;
— упругие и пластические деформации снаряда;
— вытеснение воздуха из канала ствола;
— истечение пороховых газов из канала ствола;
— образование дульной волны и пламени.

Из перечисленных процессов к **основным** во внутренней баллистике относятся горение пороха, образование пороховых газов, расширение пороховых газов, поступательное движение снаряда, истечение пороховых газов из канала ствола.

Эти процессы изучаются подробно. Остальные процессы хотя и имеют большое самостоятельное значение при изучении движения снаряда играют подчиненную роль. Они называются **второстепенными процессами** и рассматриваются во внутренней баллистике лишь в той мере, в какой это способствует раскрытию характера движения снаряда.

Явление выстрела характеризуется кратковременностью, высокими давлениями и высокими температурами. Продолжительность явления выстрела определяется десятыми и даже сотыми долями секунды. В канале ствола орудий развиваются давление, достигающее $4000 \cdot 10^5$ Н/м^2, и температура свыше 2000° К.

Во внутренней баллистике при изучении явления выстрела рассматривают пять периодов:

1. **Предварительный,** или **пиростатический, период** — от момента начала воспламенения заряда до момента начала движения снаряда.

2. **Период форсирования** — от момента начала движения снаряда до момента окончания врезания ведущих поясков снаряда в нарезы.

3. **Первый,** или **пиродинамический, период** — от момента окончания врезания ведущих поясков снаряда в нарезы до момента окончания горения пороха.

4. **Второй,** или **термодинамический, период** — от момента окончания горения пороха до момента вылета снаряда.

5. **Период последействия** — от момента вылета снаряда до момента окончания истечения пороховых газов из канала ствола.

В артиллерийских орудиях обычно имеют место все перечисленные периоды. В минометах, как правило, отсутствует период форсирования.

В пиродинамическом периоде одновременно совершается большинство процессов явления выстрела, поэтому пиродинамический период является наиболее сложным. Отметим, что горение пороха в орудии происходит сначала в постоянном объеме, а с момента начала движения снаряда — в переменном объеме; расширение пороховых газов происходит как при горении пороха, так и по окончании горения пороха.

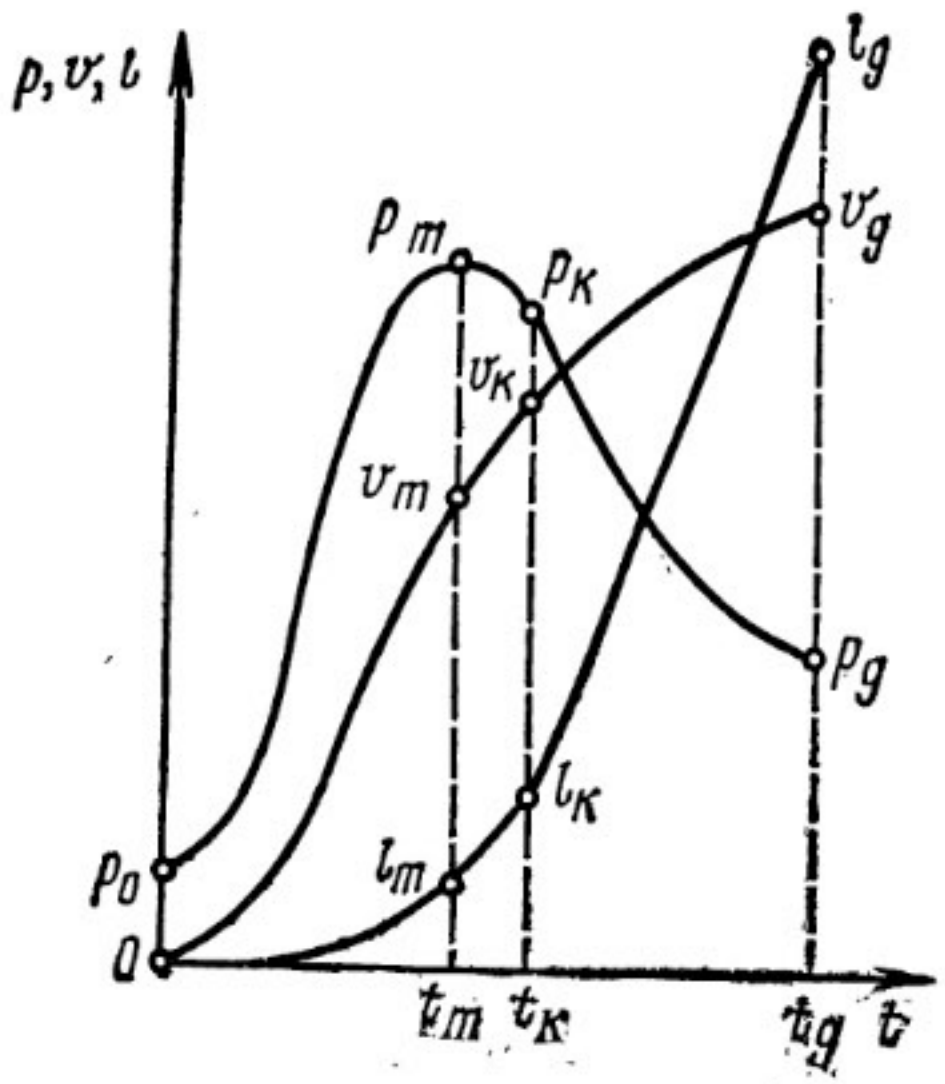


Рис. 1.1. Пиродинамические кривые при аргументе t

Во внутренней баллистике изучаются зависимости пути снаряда l, скорости снаряда относительно ствола v и давления пороховых газов p от времени t. За начало отсчета времени принимается момент начала движения снаряда. Графики этих зависимостей называются **пиродинамическими кривыми,** а величины l, v, p, t — **пиродинамическими элементами.** На рис. 1.1 даны примерные пиродинамические кривые в функции от времени.

Представляют интерес также пиродинамические кривые в функции от пути, показанные на рис. 1.2. Как видим, кривые пути, скорости и времени являются монотонными, а кривая давления имеет максимум, при котором давление называется **наибольшим давлением пороховых газов.**

Пиродинамические кривые имеют четыре **опорные точки,** отвечающие моментам начала движения снаряда, достижения максимума давления, окончания горения и вылета снаряда. Пиродинамические элементы в опорных точках будем снабжать соответственно индексами «о», «m», «к», «д», например $p_о$, p_m, $l_к$, $v_д$ и т. д.

Точка, отвечающая максимуму давления, определяется условием

$$\left(\frac{dp}{dl}\right)_m = 0.$$

Может оказаться, что полученная из этого условия величина l_m будет больше величины $l_к$, отвечающей моменту окончания горения пороха, т. е. в орудии порох сгорит раньше, чем снаряд пройдет путь l_m. Тогда наибольшим давлением пороховых газов

будет давление в момент окончания горения пороха, а аналитический максимум давления становится нереальным. Этот случай будем называть **случаем неаналитического максимума.** Подобного рода кривые давления часто встречаются в минометах.

Пиродинамические кривые могут быть записаны на опыте, причем анализ опытных кривых является одним из основных экспериментальных путей изучения явления выстрела. Можно сказать, что внутренняя баллистика занимается построением и изучением пиродинамических кривых.

Кривые в функции от времени позволяют проследить, как изменяются давление пороховых газов, скорость и путь снаряда от момента начала движения до момента вылета. Давление пороховых газов уже существует в момент начала движения, поскольку должна быть сила, способная сдвинуть снаряд; далее давление сначала растет, пока процесс расширения пороховых газов играет незначительную роль, а затем начинает падать. Максимум давления достигается приблизительно в середине полного времени $t_д$ движения снаряда по каналу ствола орудия. Скорость снаряда непрерывно растет от нуля сначала более стремительно, а потом с убывающим приростом; при $t=t_m$ график скорости имеет точку перегиба. Путь снаряда тоже растет непрерывно от нуля сначала медленно, а затем все быстрее.

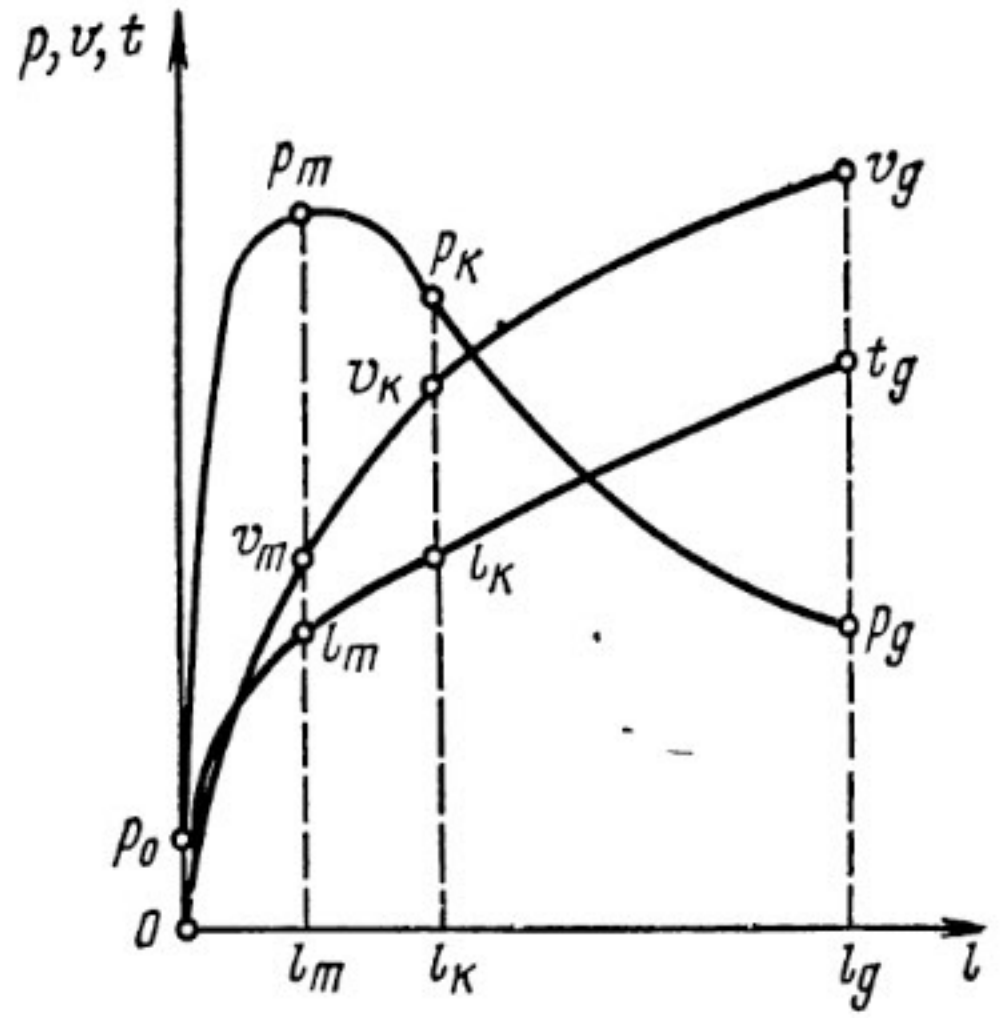


Рис. 1.2. Пиродинамические кривые при аргументе l

Кривые в функции от пути показывают, какими будут давление пороховых газов, скорость снаряда, время его движения, когда снаряд окажется на некотором расстоянии от первоначального положения, т. е. в заданном сечении канала ствола. Это особенно важно знать при расчете толщины стенки ствола, для которой сила давления пороховых газов является внутренней нагрузкой, стремящейся разрушить ствол. Пиродинамические кривые в функции от пути идут иначе, чем кривые в функции от времени. Кривая давления показывает, что наибольшее давление достигается на начальном участке движения снаряда, не превышающем одной трети полного пути снаряда в канале ствола орудия $l_д$. Поэтому именно здесь ствол имеет наибольший диаметр, убывающий потом к дульному срезу. Кривые скорости и времени обращены вогнутостью вниз.

§ 1.2. ПАРАМЕТРЫ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Параметрами внутренней баллистики являются физические величины, характеризующие те или иные свойства артиллерийской системы, состоящей из орудия, снаряда и порохового заряда.

Совокупность параметров внутренней баллистики определяет пиродинамические кривые и отдельные их элементы. Например, начальная скорость снаряда будет зависеть от большого числа параметров внутренней баллистики; изменить величину начальной скорости можно только путем изменения одного или нескольких из этих параметров; если же известно, что величина начальной скорости изменилась, то можно утверждать, что произошло изменение одного или нескольких параметров внутренней баллистики.

Следовательно, зная параметры внутренней баллистики и характер их влияния, можно сознательно воздействовать на движение снаряда или объяснить отмеченные в движении снаряда особенности, что очень важно для артиллерийской практики.

Параметры внутренней баллистики можно разделить на три группы: **конструктивные параметры, параметры условий заряжания и характеристики пороха.**

К конструктивным параметрам относятся:

— калибр орудия d;

— площадь поперечного сечения канала ствола s;

— объем каморы W_0;

— длина каморы $l_{кам}$;

— приведенная длина каморы l_0:

$$l_0 = \frac{W_0}{s}; \tag{1.1}$$

— коэффициент уширения каморы

$$\chi = \frac{l_0}{l_{кам}}; \tag{1.2}$$

— полная длина пути снаряда $l_д$;

— длина канала ствола $L_{кн}$:

$$L_{кн} = l_д + l_{кам}; \tag{1.3}$$

— объем канала ствола

$$W_{кн} = sl_д + W_0. \tag{1.4}$$

Калибр орудия равен диаметру канала ствола по полям нарезов.

Площадь поперечного сечения канала ствола определяется с учетом нарезов по формуле

$$s = к_s d^2, \tag{1.5}$$

где $к_s$ — коэффициент, зависящий от устройства нарезной части канала ствола:

$к_s = 0{,}79$ при отсутствии нарезов;

$к_s = 0{,}81$ при глубине нарезов 1% калибра;
$к_s = 0{,}83$ при глубине нарезов 2% калибра.

Объемом каморы называется объем заснарядного пространства в момент начала движения снаряда. При патронном заряжании за объем каморы принимают внутренний объем гильзы, спатронированной со снарядом. При раздельном заряжании за объем каморы принимают объем заснарядного пространства при досланном до упора в соединительный конус снаряде.

Длина каморы равна расстоянию от дна канала ствола до дна снаряда в момент начала движения. Практически длину каморы можно измерить линейкой от дна досланного снаряда до казенного среза трубы ствола. Необходимо отличать действительную длину каморы от условной длины каморы $\lambda_о$, которая измеряется с помощью прибора замера каморы (ПЗК). Условная длина будет больше приблизительно на расстояние от передней кромки ведущего пояска до дна снаряда $\lambda_{сн}$:

$$\lambda_о = l_{кам} + \lambda_{сн}. \qquad (1.6)$$

Приведенная длина каморы равна длине цилиндра с площадью основания s и объемом $W_о$.

Полная длина пути снаряда равна расстоянию от дна снаряда до дульного среза ствола (без дульного тормоза) в момент начала движения. Обычно бывает известна длина нарезной части канала ствола $l_н$; зная ее, найдем

$$l_д = l_н + \lambda_{сн}. \qquad (1.7)$$

Иногда к длине нарезной части канала ствола добавляют одну треть длины дульного тормоза.

Длина ствола отличается от длины канала ствола на длину затвора $(1 \div 2)\ d$.

К параметрам условий заряжания относятся:

— масса снаряда q;
— масса порохового заряда ω;
— плотность заряжания

$$\Delta = \frac{\omega}{W_о}; \qquad (1.8)$$

— давление форсирования $p_о$;
— коэффициент фиктивности φ;
— параметр заряжания проф. Н. Ф. Дроздова B.

Плотность заряжания Δ определяется путем деления величины массы заряда в кг на величину объема каморы в дм³ (т. е. в л) и характеризует степень заполнения каморы порохом.

Существует наивыгоднейшее значение плотности заряжания $\Delta_н$, при котором дульная скорость снаряда для данной артиллерийской системы будет наибольшей при условии сохранения постоянной величины наибольшего давления пороховых газов. Наивыгоднейшая плотность заряжания зависит в основном от наибольшего давления пороховых газов p_m, давления форсирования $p_о$ и кало-

рийности пороха Q_w. В табл. 1.1 приведены значения $\Delta_н$ при $Q_w = 335 \cdot 10^4 \frac{Дж}{кг}$ и $p_0 = 300 \cdot 10^5$ Н/м².

Таблица 1.1

$p_m 10^{-5}$ Н/м²	1000	2000	3000	4000	5000
$\Delta_н$ кг/дм³	0,31	0,56	0,72	0,93	0,89

Параметры p_0, φ, B являются сложными параметрами, зависящими от других параметров внутренней баллистики. В дальнейшем будут даны определения этих параметров.

К характеристикам пороха относятся:

— калорийность пороха Q_w;
— температура горения пороха T_1;
— удельный объем пороховых газов w_1;
— плотность пороха δ;
— сила пороха f;
— коволюм пороховых газов α;
— толщина горящего свода порохового зерна $2e_1$;
— коэффициент скорости горения пороха u_1;
— конечный импульс давления пороховых газов $I_к$;
— коэффициенты формы порохового зерна $\varkappa$, λ;
— параметр расширения пороховых газов θ.

В настоящее время в артиллерии применяются следующие сорта порохов: дымный, пироксилиновый, нитроглицериновый, нитродигликолевый, нитрогуанидиновый и нитроксилитановый. Каждый порох является метательным взрывчатым веществом, состоящим из горючего, окислителя, связующего и добавок.

Дымный порох представляет собой механическую смесь калиевой селитры K_2SO_4 (окислитель, 75%), древесного угля C (горючее, 15%) и серы S (связующее, 10%). При горении дымного пороха выделяется большое количество твердых остатков (до 56%), образующих дым. Дымный порох употребляется в основном на изготовление воспламенителей зарядов.

Остальные пороха являются **бездымными порохами** коллоидного типа. Основной частью бездымных порохов является **пироксилин** — продукт, полученный в результате обработки клетчатки азотной кислотой, с содержанием азота от 11 до 13,5%. С помощью растворителей: спирто-эфирной смеси, нитроглицерина, ацетона, нитродигликоля—производится желатинизация пироксилина и получаются бездымные пороха.

При горении бездымные пороха почти полностью превращаются в пороховые газы. Состав пороховых газов зависит от состава пороха и давления пороховых газов. В табл. 1.2 приведен объемный процентный состав газов, образующихся при сгорании пироксилинового пороха с содержанием 11% азота.

Таблица 1.2

Газы	Давление	
	$100 \cdot 10^5$ Н/м²	$4000 \cdot 10^5$ Н/м²
Углекислый газ CO_2	21,7	30,9
Окись углерода CO	49,3	34,5
Водород H_2	12,6	17,4
Метан CH_4	—	1,6
Азот N_2	16,4	15,6
Пары воды H_2O (сверх 100%)	14,0	14,8

Отметим, что пороховые газы содержат окись углерода CO, водород H_2 и метан CH_4, которые при истечении пороховых газов из канала ствола способны соединяться с кислородом воздуха (гореть), образуя дульное или обратное пламя во время стрельбы.

Калорийностью пороха Q_w, $\frac{Дж}{кг}$, называется количество тепла, которое выделяется пороховыми газами, образовавшимися при сгорании 1 кг пороха, при охлаждении их до 18° С. Величину Q_w определяют путем сжигания навески пороха в калориметрической бомбе.

В пороховых газах содержатся водяные пары, которые при их охлаждении конденсируются. Будем считать калорийность Q_w при воде газообразной.

Величина Q_w у существующих бездымных порохов изменяется в пределах от $230 \cdot 10^4$ до $530 \cdot 10^4$ $\frac{Дж}{кг}$.

Пороха, калорийность которых ближе к нижнему пределу, называются условно **холодными,** а пороха с калорийностью, близкой к верхнему пределу, — **горячими**.

Калорийность пороха Q_w является одной из главных его характеристик, непосредственно влияющих на результаты стрельбы и на качества артиллерийской системы. Например, пороха с калорийностью, меньшей $300 \cdot 10^4$ $\frac{Дж}{кг}$, дают, как правило, беспламенный выстрел.

Температурой горения пороха T_1,°К, называется температура, которую имеют пороховые газы в момент их образования. Непосредственное определение величины T_1 в бомбе не обеспечивает достаточной точности, поэтому обычно величину T_1 вычисляют по опытной величине Q_w, предполагая, что все выделившееся при горении пороха тепло расходуется на нагрев продуктов взрывчатого превращения. У существующих порохов температура горения изменяется в пределах от 2100 до 3800° К.

Удельным объемом пороховых газов w_1, $\frac{дм^3}{кг}$, называется объем, занимаемый образовавшимися при сгорании 1 кг пороха пороховыми газами после расширения и охлаждения их до состояния,

определяемого температурой 0° С и давлением 760 мм рт. ст. Удельный объем определяется с помощью газометра. У существующих бездымных порохов удельный объем пороховых газов изменяется в пределах от 750 до 1100 $\frac{дм^3}{кг}$.

Плотностью пороха $\delta, \frac{кг}{дм^3}$, называется масса пороха, заключенного в единице объема, при температуре 15° С и давлении 750 мм рт. ст.

Плотность дымного пороха зависит от давления прессования и изменяется в пределах от 1,5 до 1,9 кг/дм³. Плотность бездымных порохов изменяется в пределах от 1,54 до 1,64 кг/дм³.

Силой пороха $f, \frac{Дж}{кг}$, называется величина, равная произведению удельной газовой постоянной R на температуру горения пороха T_1:

$$f = RT_1. \tag{1.9}$$

Сила пороха может определяться экспериментально путем сжигания навески пороха в манометрической бомбе. Она выражает работу, которую мог бы совершить 1 кг пороховых газов, расширяясь при нагревании от нуля градусов до температуры горения при постоянном атмосферном давлении.

Удельная газовая постоянная R зависит от молекулярного веса пороховых газов μ:

$$R = \frac{8478}{\mu}. \tag{1.10}$$

Среднее значение R для пороховых газов равно 370 $\frac{Дж}{кг \cdot град}$.

Величина силы пороха в основном зависит от калорийности пороха. Для всех существующих бездымных порохов можно принять следующую опытную зависимость:

$$f = (6436 + 8{,}94 \cdot 10^{-4} Q_w) \cdot 10^2. \tag{1.11}$$

У существующих порохов сила пороха изменяется в пределах от $500 \cdot 10^3$ до $1200 \cdot 10^3$ $\frac{Дж}{кг}$.

Коволюмом пороховых газов $\alpha, \frac{дм^3}{кг}$, называется объем, характеризующий объем молекул пороховых газов, образовавшихся при сгорании 1 кг пороха. Коволюм может определяться экспериментально путем сжигания навески пороха в манометрической бомбе.

Величина коволюма входит в уравнение состояния реальных газов, например в уравнение вида

$$p(w - \alpha) = RT, \tag{1.12}$$

и учитывает объем сфер действия молекул, который обычно принимают равным учетверенному объему самих молекул. Учет ково-

люма производится только при высоких давлениях, какие имеют место в артиллерийских орудиях. В ракетных двигателях коволюм газов не учитывается.

Во внутренней баллистике для определения коволюма используется соотношение

$$\alpha \approx 0{,}001\, w_1. \tag{1.13}$$

Для всех существующих бездымных порохов можно принять следующую опытную зависимость коволюма от калорийности пороха:

$$\alpha = (1456 - 1{,}40 \cdot 10^{-4} Q_w) \cdot 10^{-3}. \tag{1.14}$$

У существующих бездымных порохов коволюм изменяется в пределах от 0,8 до 1,2 дм³/кг.

В табл. 1.3 приведены средние значения рассмотренных характеристик для различных порохов.

Таблица 1.3

Порох	$Q_w \cdot 10^{-4}$ Дж/кг	T_1 °К	w_1 дм³/кг	f Дж/кг	α дм³/кг
Дымный	210	2400	300	280000	0,50
Пироксилиновый	325	2770	950	950000	1,00
Нитроглицериновый:					
холодный	270	2400	1025	900000	1,10
горячий	360	3000	900	1000000	0,95
Нитродигликолевый	245	2100	1047	870000	1,13
Нитрогуанидиновый, Нитроксилитановый	250	2200	1066	907000	1,06

В артиллерии употребляются пороха, разнообразные по форме и размерам пороховых зерен. На рис. 1.3 изображены пороховые зерна различной формы: а) трубка; б) пруток; в) лента; г) пластинка; д) куб; е) кольцо; ж) спираль; з) семинакальное зерно. Пороха, имеющие форму цилиндрических зерен с каналами или без каналов, длина которых в два-три раза больше диаметра, называются **зерненными** порохами.

Толщиной горящего свода порохового зерна $2e_1$ называется наименьший линейный размер порохового зерна. Чем больше толщина горящего свода, тем дольше при прочих равных условиях горит пороховое зерно. Толщина горящего свода обычно увеличивается с увеличением калибра орудия.

У существующих артиллерийских порохов толщина горящего свода изменяется в пределах от 0,1 до 5 мм. У порохов реактив-

ной артиллерии толщина горящего свода достигает нескольких сантиметров.

Остальные характеристики пороха u_1, $I_к$, $\varkappa$, λ, θ будут рассмотрены ниже.

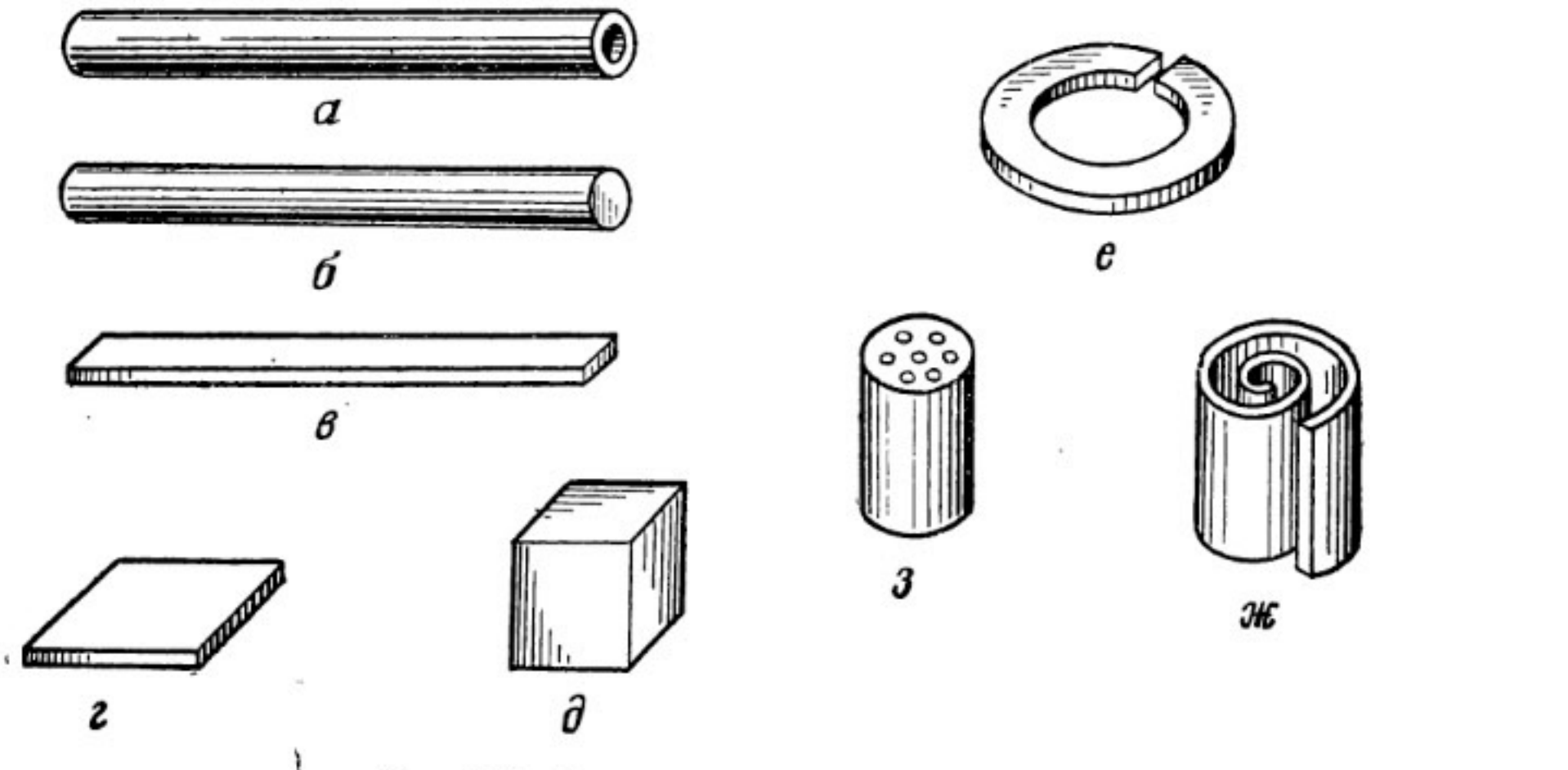


Рис. 1.3. Форма пороховых зерен

§ 1.3. ГОРЕНИЕ ПОРОХА

Для того чтобы началось горение порохового зерна, ему необходимо в некоторой точке поверхности сообщить тепловой импульс, способный вызвать взрывчатое превращение пороха. Этот процесс называется **зажжением.** Зажжение бездымного пороха происходит при температуре около 200° С, а зажжение дымного пороха — при температуре около 270° С.

После зажжения происходит **воспламенение,** т. е. процесс распространения реакции взрывчатого превращения по поверхности порохового зерна. Скорость воспламенения зависит от сорта пороха и внешних условий, главным образом от наружного давления. С увеличением давления скорость воспламенения возрастает.

При атмосферном давлении скорость воспламенения бездымного пороха равна 1 мм/с, а дымного пороха достигает 3000 мм/с.

В орудии зажжение и воспламенение порохового заряда при выстреле производятся с помощью воспламенителя, состоящего обычно из дымного пороха, создающего при сгорании давление пороховых газов примерно $50 \cdot 10^5 Н/м^2$.

Горением пороха называется процесс распространения реакции взрывчатого превращения от поверхности в глубь порохового зерна.

Механизм горения пороха состоит в термическом разложении (газификации) нитроклетчатки в поверхностном слое *1* (рис. 1.4) и в химическом взаимодействии газообразных продуктов разло-

жения в зоне *2* с образованием пламени и выделением большого количества тепла. На рис. 1.4 показан график изменения температуры в толщине пороха и в пороховых газах у поверхности зерна от начальной температуры пороха T_0 до температуры горения T_1. Нагрев поверхностного слоя на глубину $x_г$ происходит за счет теплопередачи от раскаленных пороховых газов зоны *2*, причем в поверхностном слое зерна толщиной $x_р$ устанавливается температура $T_п$, при которой идет процесс разложения нитроклетчатки. При сжигании пороха в открытом пространстве получены следующие данные: для пироксилинового пороха $T_п = 525 \pm 48°$ К, для нитроглицеринового пороха $T_п = 603 \pm 45°$ К; величина $x_р$ составляет около 5% толщины прогретого слоя $x_г$.

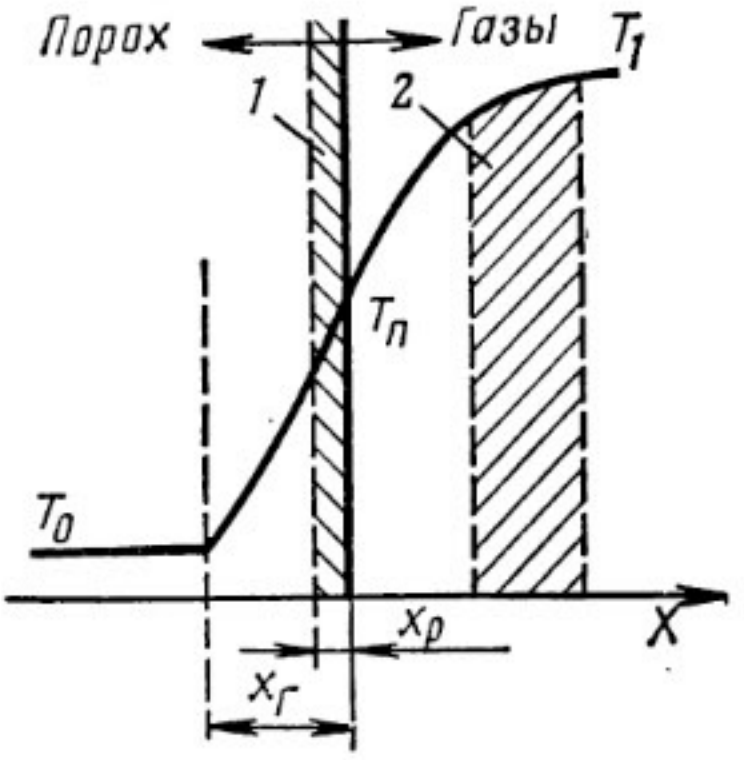


Рис. 1.4. Механизм горения пороха

Горение пороха характеризуется величиной скорости горения.

Скоростью горения пороха u называется скорость распространения реакции взрывчатого превращения пороха по нормали к поверхности порохового зерна:

$$u = \frac{de}{dt}, \qquad (1.15)$$

где e — толщина слоя сгоревшего пороха, т. е. расстояние от поверхности порохового зерна, на которое распространяется реакция взрывчатого превращения за время t.

Скорость горения пороха зависит от сорта пороха, наружного давления, начальной температуры пороха, скорости обдува поверхности порохового зерна.

Зависимость скорости горения от давления p называется **законом скорости горения** и в общем случае выражается эмпирической формулой

$$u = a\left(1 + bp^{\nu}\right), \qquad (1.16)$$

где a, b, ν — эмпирические коэффициенты.

В артиллерийских орудиях при больших давлениях справедлив линейный закон

$$u = u_1 p. \qquad (1.17)$$

Эмпирический коэффициент скорости горения u_1, как следует из формулы (1.17), представляет собой скорость горения в м/с при давлении, равном 1 Н/м², и имеет размерность $\frac{м}{с} : \frac{Н}{м^2}$. Величина u_1, очевидно, должна зависеть от сорта, начальной температуры и скорости обдува пороха.

В табл. 1.4 приведены увеличенные в 10^{11} раз значения u_1 для различных сортов пороха при температуре пороха $t_3 = 15°\,C$ и при отсутствии обдува пороха.

Таблица 1.4

Порох	$u_1 \cdot 10^{11}\ \frac{м}{с} : \frac{Н}{м^2}$
Дымный	1000
Пироксилиновый	55—85
Нитроглицериновый:	
холодный	60—70
горячий	180—200
Нитродигликолевый, Нитрогуанидиновый, Нитроксилитановый	40—60

Величина u_1 возрастает примерно на 28% при увеличении содержания азота в порохе на 1% и уменьшается примерно на 13% с увеличением содержания влаги в порохе на 1%.

Для всех существующих бездымных порохов можно принять следующую опытную зависимость:

$$u_1 = (-75{,}0 + 0{,}467 \cdot 10^{-4} Q_w) \cdot 10^{-11}, \qquad (1.18)$$

из которой следует, что с увеличением калорийности скорость горения пороха возрастает линейно.

Зависимость скорости горения пороха от его начальной температуры t_3 имеет следующий вид:

$$\frac{u}{u_{15}} = \frac{Б}{Б - (t_3 - 15)}, \qquad (1.19)$$

где Б — эмпирический коэффициент, равный в среднем 320.

Для существующих бездымных порохов при увеличении начальной температуры на 1°С скорость горения увеличивается примерно на 0,16%.

Зависимостью скорости горения пороха от скорости обдува при горении пороха в артиллерийском орудии, когда пороховые зерна перемещаются вместе с пороховыми газами, можно пренебречь.

В основу изучения горения порохового заряда, состоящего из большого числа пороховых зерен, положены три основных положения, полученных из многолетней артиллерийской практики:

— все пороховые зерна заряда имеют одинаковую форму и размеры;

— воспламенение всех пороховых зерен заряда происходит мгновенно;

— горение всех пороховых зерен заряда происходит во всех точках поверхности с одинаковой скоростью, т. е. параллельными слоями.

Эти положения составляют сущность так называемого **геометрического закона горения пороха.** В некоторых случаях (недостаточный вес воспламенителя, очень узкие каналы в пороховых зернах) геометрический закон горения может существенно отличаться от действительного, называемого **физическим законом горения пороха.**

§ 1.4. ОБРАЗОВАНИЕ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ

В результате горения пороха идет процесс образования пороховых газов.

Законом образования пороховых газов называется зависимость между относительной массой сгоревшего пороха ϕ и относительной толщиной слоя сгоревшего пороха z:

$$\psi = f(z),$$

где

$$\psi = \frac{\omega_{сг}}{\omega}; \; z = \frac{e}{e_1}; \qquad (1.20)$$

$\omega_{сг}$ — масса сгоревшего пороха;
e_1 — половина толщины горящего слоя порохового зерна.

Величины ϕ и z при горении пороха изменяются от нуля в момент начала горения ($\omega_{сг}=0$, $e=0$) до единицы в момент окончания горения.

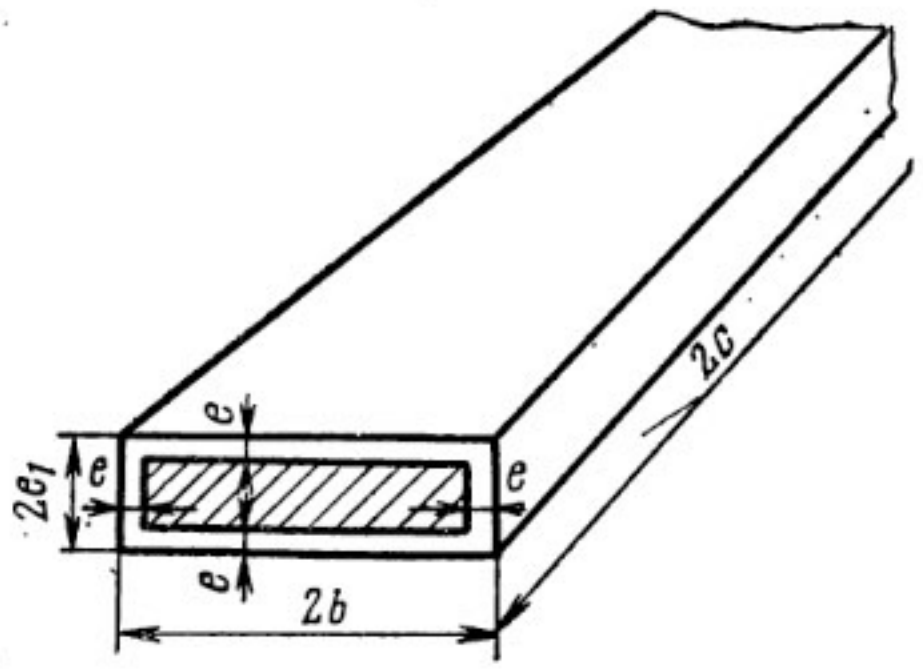


Рис. 1.5. Горение зерна в форме ленты

Аналитическое выражение для закона образования пороховых газов при геометрическом законе горения пороха можно получить теоретическим путем.

Обозначим через n число зерен в заряде, через Λ_1 начальный объем порохового зерна, а через Λ объем порохового зерна в произвольный момент времени. Тогда начальная масса заряда будет равна $\omega = n\Lambda_1\delta$, масса сгоревшего пороха $\omega_{сг} = n(\Lambda_1 - \Lambda)\delta$ и выражение для ϕ примет вид

$$\psi = \frac{\omega_{сг}}{\omega} = \frac{n(\Lambda_1 - \Lambda)\delta}{n\Lambda_1\delta} = 1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_1}. \qquad (1.21)$$

Таким образом, оказалось, что для определения ϕ необходимо рассмотреть изменение объема одного порохового зерна.

Рассмотрим горение порохового зерна ленточной формы (рис. 1.5).

Пусть в произвольный момент времени пороховая лента обгорит со всех сторон на толщину слоя e.

Первоначальный объем ленты

$$\Lambda_1 = 2e_1\, 2b\, 2c.$$

Объем ленты в рассматриваемый момент времени

$$\Lambda = (2e_1 - 2e)(2b - 2e)(2c - 2e).$$

Используя формулу (1.21) и сделав преобразования, получим выражение

$$\psi = \varkappa z (1 + \lambda z + \mu z^2), \tag{1.22}$$

в котором

$$\left.\begin{aligned} \varkappa &= 1 + \alpha + \beta; \\ \lambda &= -\frac{\alpha + \beta + \alpha\beta}{1 + \alpha + \beta}; \\ \mu &= \frac{\alpha\beta}{1 + \alpha + \beta}, \end{aligned}\right\} \tag{1.23}$$

где $\alpha = \frac{2e_1}{2b}$; $\beta = \frac{2e_1}{2c}$.

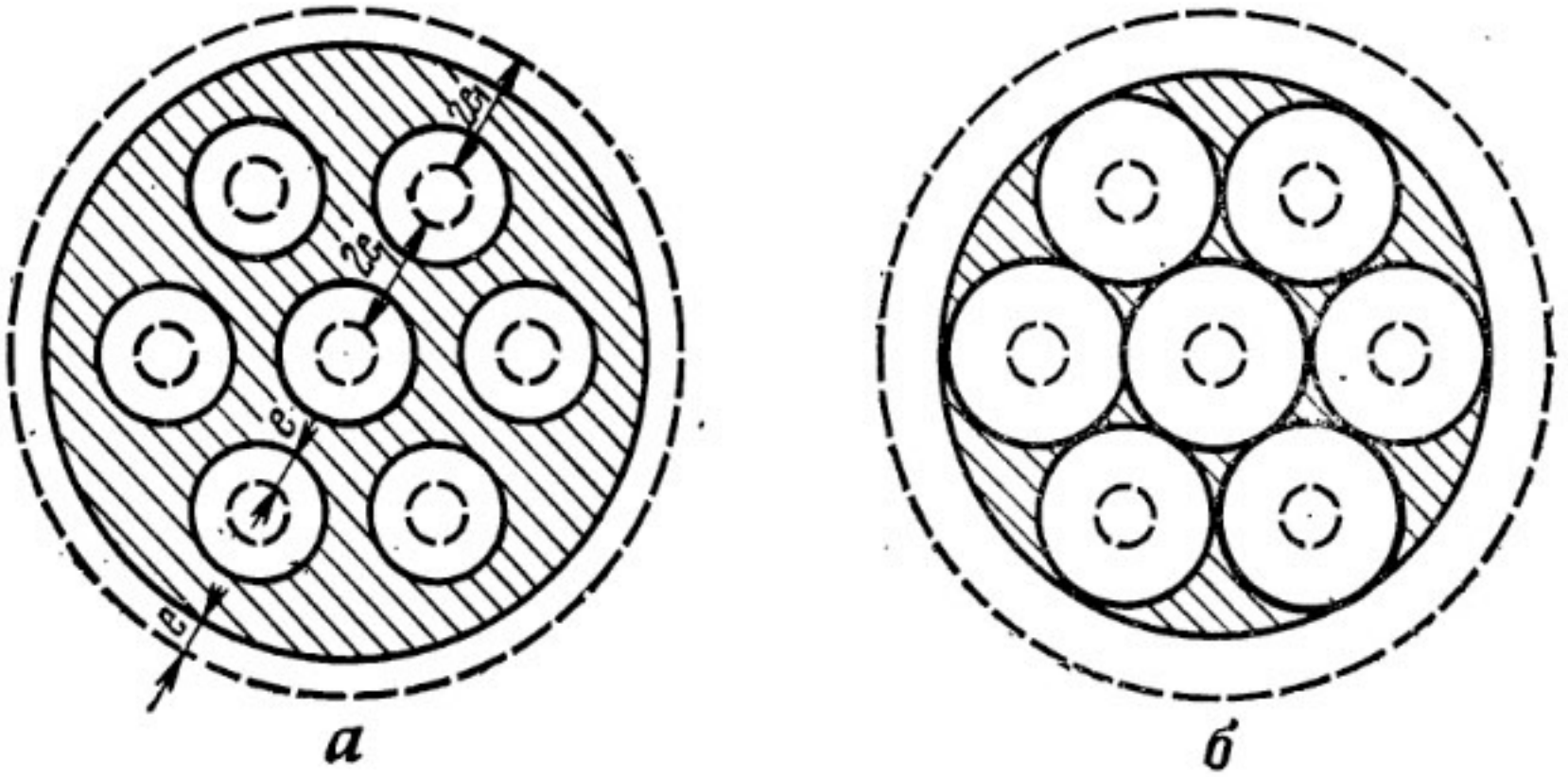


Рис. 1.6. Горение семиканального зерна:
а — до распада; *б* — после распада

Выражение (1.22) является общим выражением для закона образования пороховых газов, справедливым для пороховых зерен распространенной формы. Величины $\varkappa$, λ, μ называются коэффициентами формы порохового зерна и будут принимать различные значения для пороховых зерен различной формы.

Распространенные в артиллерии зерненые пороха с семью каналами горят с распадом зерна, который происходит в момент соприкосновения поверхностей каналов друг с другом (рис. 1.6). При этом образуется 6 внешних и 6 внутренних звездок, которые составляют соответственно 12 и 3% всего объема зерна.

Таким образом, горение семиканального порохового зерна происходит в две фазы: в первой фазе сохраняется форма семиканального зерна, во второй фазе идет горение звездок. Очевидно, коэффициенты формы в каждой фазе будут свои.

В табл. 1.5 приведены размеры и коэффициенты формы для ряда пороховых зерен.

Таблица 1.5

Форма порохового зерна	Размеры, мм			Коэффициенты формы		
	$2e_1$	$2b$	$2c$	$\varkappa$	λ	μ
Куб, шар	$2r$	—	—	3	—1	0,33
Лента	1,5	30	200	1,058	—0,0547	0,00036
Трубка	1,78	—	255	1,007	—0,007	0
Трубка, бронированная с торцов и наружной поверхности	$d_к$	—	—	0,667	0,500	0
Семиканальное зерно:						
первая фаза	$2d_к$	—	$25d_к$	0,720	0,345	—0,0556
вторая фаза	$0{,}53d_к$	—	$23d_к$	1,808	—0,470	—

Примечание. $d_к$ — диаметр канала порохового зерна.

На практике обычно ввиду относительной малости μ пользуются двучленным выражением закона образования пороховых газов

$$\psi = \varkappa z (1 + \lambda z). \tag{1.24}$$

Тогда форма порохового зерна будет определяться только одним коэффициентом $\varkappa$, так как второй коэффициент λ однозначно определяется через $\varkappa$:

$$\lambda = \frac{1 - \varkappa}{\varkappa}.$$

Относительное количество газов, образовавшихся при горении пороха в единицу времени, т. е. относительный секундный приход газов, называется **быстротой газообразования.** Дифференцируя выражение (1.21)

$$\psi = 1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_1}$$

по времени, получим

$$\frac{d\psi}{dt} = -\frac{1}{\Lambda_1} \cdot \frac{d\Lambda}{dt}. \tag{1.25}$$

Введем в формулу (1.25) поверхность S горения порохового зерна, тогда

$$d\Lambda = -S\,de.$$

и

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S}{\Lambda_1} \cdot \frac{de}{dt}. \tag{1.26}$$

Поверхность зерна до начала горения обозначим через S_1. Деля и умножая правую часть равенства (1.26) на S_1 и учитывая выражения (1.15) и (1.17) для скорости горения, будем иметь

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} \cdot \frac{S}{S_1} u_1 p. \tag{1.27}$$

Рассмотрим влияние на быстроту газообразования величины $\frac{S}{S_1}$. При неизменном давлении секундный приход газов увеличивается с увеличением величины $\frac{S}{S_1}$ и уменьшается с ее уменьшением. В случае постоянства величины $\frac{S}{S_1}$ секундный приход газов при постоянном давлении будет оставаться постоянным.

Величину $\frac{S}{S_1}$ обозначают через σ и называют коэффициентом прогрессивности пороха:

$$\sigma = \frac{S}{S_1}. \tag{1.28}$$

Порох, у которого при горении поверхность увеличивается и, следовательно, $\sigma > 1$, называется **порохом прогрессивной формы.**

Порох, у которого при горении поверхность уменьшается и, следовательно, $\sigma < 1$, называется порохом **дегрессивной формы.**

Порох, у которого при горении поверхность не изменяется и, следовательно, $\sigma = 1$, называется **порохом нейтральной формы.**

Коэффициент прогрессивности σ при горении пороха не остается постоянным, а является функцией z:

$$\sigma = 1 + 2\lambda z + 3\mu z^2. \tag{1.29}$$

Найдем производную от σ по z:

$$\frac{d\sigma}{dz} = 2\lambda + 6\mu z. \tag{1.30}$$

Знак производной определяет характер изменения коэффициента прогрессивности σ.

Ввиду относительной малости μ знак производной $\frac{d\sigma}{dz}$ и, следовательно, степень прогрессивности формы пороха будут зависеть от знака λ.

Из табл. 1.5 видим, что пороховые зерна в форме куба, шара, ленты, трубки, звездок после распада семиканального зерна имеют $\lambda < 0$, т. е. являются дегрессивными; семиканальные зерна в первой фазе горения и трубка, бронированная с торцов и наружной поверхности, имеют $\lambda > 0$, т. е. обладают прогрессивной формой. Строго нейтральной будет форма трубки с бронированными торцами, для которой $\lambda = 0$. Пороховое зерно в виде трубки приближается к зерну нейтральной формы.

На рис. 1.7 и 1.8 изображены соответственно кривые $\phi = f(z)$ и $\sigma = f(z)$ для тех форм пороховых зерен, которые рассмотрены в табл. 1.5; при этом табличные порядковые номера сохранены и на рисунках. Величины σ_S и ϕ_S отвечают моменту распада семиканального зерна. Рисунки показывают, что при сгорании пороха на одну и ту же толщину слоя, например при $z = 0{,}5$, поверхность горения (σ) будет тем меньше, а относительное количество выделившихся газов (ϕ) тем больше, чем дегрессивнее форма пороха.

Это обстоятельство имеет большое значение для артиллерийской практики. При заданном наибольшем давлении пороховых газов в орудии увеличение прогрессивности формы пороха позволяет увеличить массу порохового заряда и, следовательно, начальную скорость снаряда.

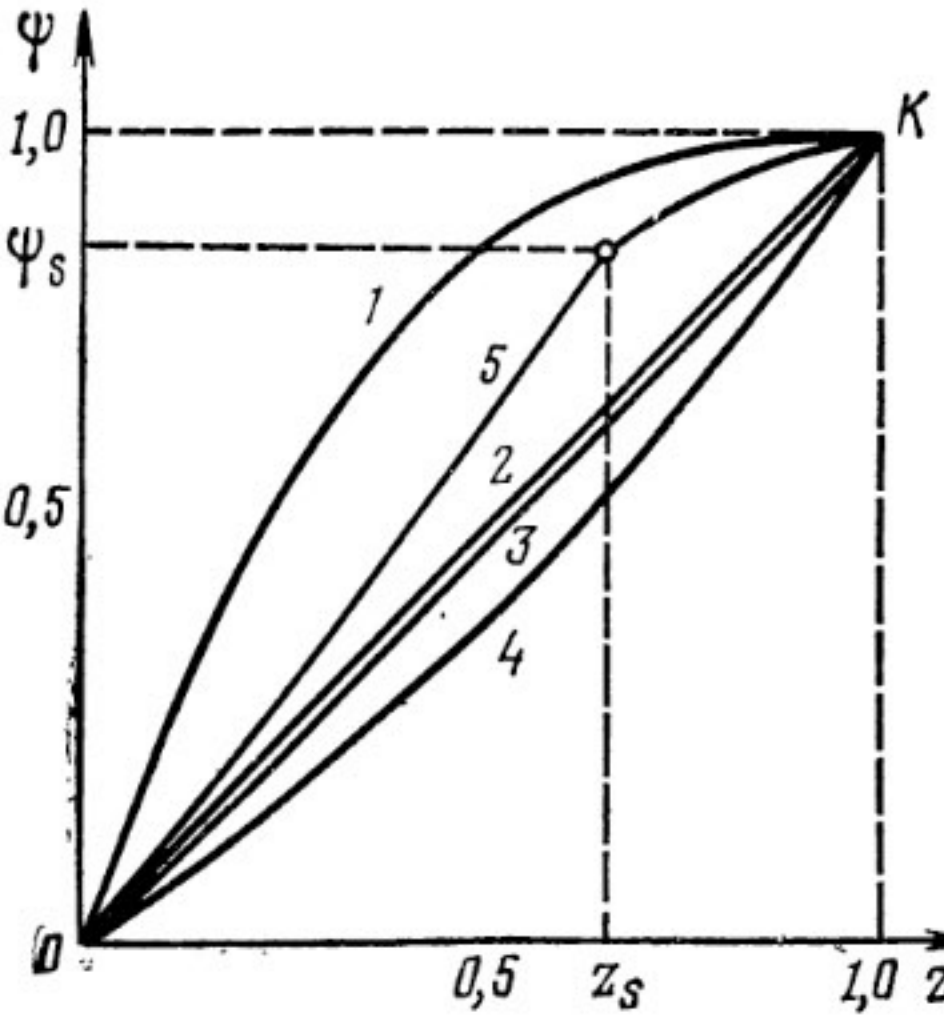


Рис. 1.7. Закон образования газов

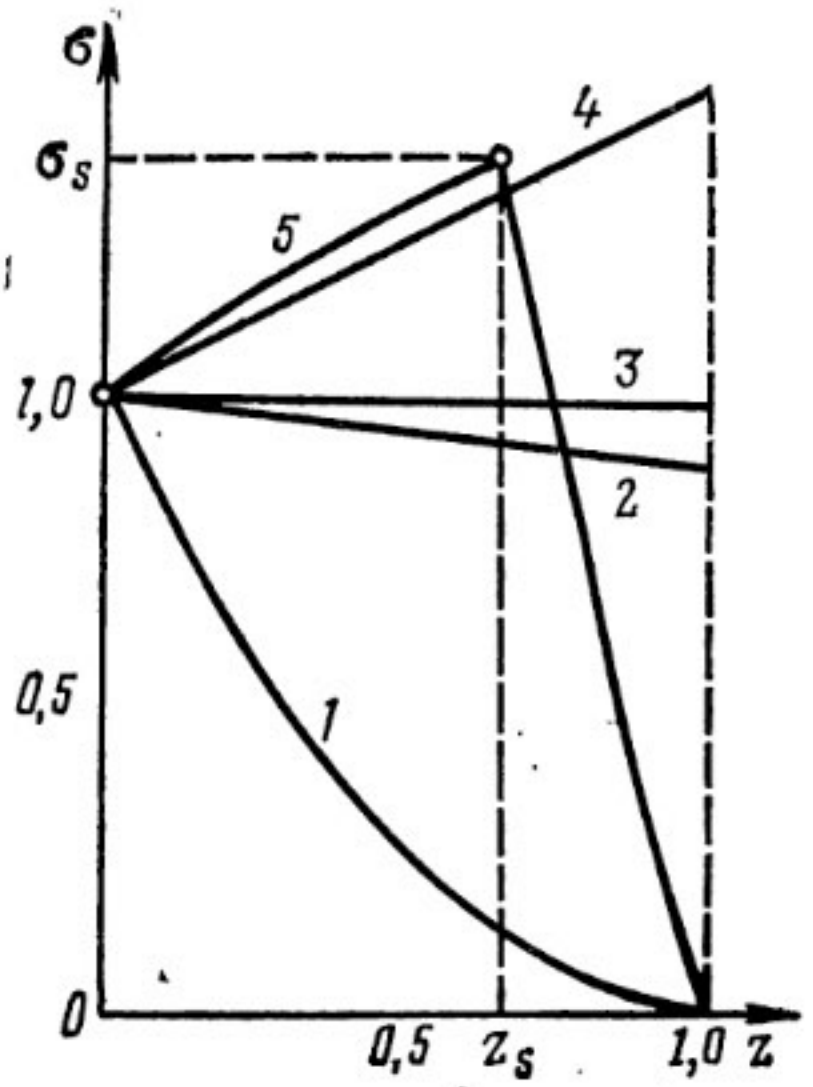


Рис. 1.8. Коэффициент прогрессивности

§ 1.5. ДАВЛЕНИЕ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ В ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ

При горении пороха в постоянном объеме, например в манометрической бомбе, вследствие непрерывного поступления пороховых газов давление p будет непрерывно возрастать до величины наибольшего давления P в момент окончания горения.

Величина давления в любой момент времени определяется с помощью уравнения состояния газа с учетом коволюма (1.12):

$$p(w-\alpha)=RT,$$

откуда

$$p=\frac{RT}{w-\alpha}, \tag{1.31}$$

где w — удельный объем газов.

При отсутствии теплообмена в постоянном объеме пороховые газы будут иметь постоянную температуру $T=T_1$ во все время горения, т. е.

$$p=\frac{RT_1}{w-\alpha}. \tag{1.32}$$

К рассматриваемому моменту времени сгорит и превратится в пороховые газы $\omega_{cr}=\omega\psi$ пороха, а останется $\omega(1-\psi)$ пороха. Образовавшиеся пороховые газы будут занимать объем, равный объему

каморы W_0, за вычетом объема, занимаемого несгоревшим порохом: $\frac{\omega}{\delta}(1-\psi)$, где δ — плотность пороха.

Соответствующий удельный объем пороховых газов w будет равен отношению объема, занимаемого пороховыми газами, к их массе:

$$w = \frac{W_0 - \frac{\omega}{\delta}(1-\psi)}{\omega\psi}.$$

Подставляя это выражение в формулу (1.32) и учитывая, что $RT_1 = f$, найдем

$$p = \frac{f}{\frac{W_0 - \omega/\delta\,(1-\psi)}{\omega\psi} - \alpha},$$

или

$$p = \frac{f\omega\psi}{W_0 - \frac{\omega}{\delta}(1-\psi) - \alpha\omega\psi} = \frac{f\omega\psi}{W_\psi}. \qquad (1.33)$$

Знаменатель выражения (1.33) представляет собой свободный объем каморы W_ψ, т. е. объем каморы за вычетом объема, занимаемого несгоревшим порохом и самими молекулами пороховых газов:

$$W_\psi = W_0 - \frac{\omega}{\delta}(1-\psi) - \alpha\omega\psi. \qquad (1.34)$$

Введем приведенную длину свободного объема каморы l_ψ:

$$l_\psi = \frac{W_\psi}{s} = l_0\left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\Delta\psi\right], \qquad (1.35)$$

которая будет использоваться дальше.

Вводя плотность заряжания Δ, можем записать

$$p = \frac{f\Delta\psi}{1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\Delta\psi}. \qquad (1.36)$$

Ввиду того что величины α и $1/\delta$ мало отличаются друг от друга, влияние последнего слагаемого в знаменателе незначительно, а зависимость давления пороховых газов от относительной массы сгоревшего пороха близка к линейной.

Наибольшее давление пороховых газов $p = P$ достигается при $\psi = 1$ и называется **полным пиростатическим давлением.** Формулу для P получим из выражения (1.33) или выражения (1.36):

$$P = \frac{f\omega}{W_0 - \alpha\omega}, \qquad (1.37)$$

или

$$P = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}. \qquad (1.38)$$

Формула впервые была получена Л. Н. Шишковым для дымного пороха в 1857 г.

Уравнение (1.38) представляет собой уравнение гиперболы относительно Δ. С увеличением плотности заряжания Δ наибольшее давление пороховых газов в постоянном объеме P будет расти и при приближении Δ к величине, равной $\frac{1}{\alpha}$, будет стремиться к бесконечности, так как знаменатель в выражении (1.38) будет стремиться к нулю.

Зависимость давления пороховых газов в постоянном объеме от времени имеет вид

$$p = p_a e^{\tau}, \qquad (1.39)$$

где p_a — давление в момент начала горения порохового заряда, равное атмосферному давлению или давлению пороховых газов воспламенителя;

τ — пиростатический параметр условий заряжания:

$$\tau = \frac{\left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\delta}\right) l_к}{fx}. \qquad (1.40)$$

Из выражения (1.39) следует, что параметр τ численно равен времени горения порохового заряда, при котором давление пороховых газов в постоянном объеме увеличится в $e = 2{,}72$ раза.

Полученные в пиростатике выражения для давления пороховых газов применяются при вычислении величины давления или величины сгоревшей части порохового заряда в орудии в предварительном периоде.

Например, для любого орудия при $\Delta = 0{,}70 \frac{кг}{дм^3}$; $f = 95 \cdot 10^4 \frac{Дж}{кг}$ и $\alpha = 1{,}0 \frac{дм^3}{кг}$ по формуле (1.38) получим

$$P = \frac{0{,}70 \cdot 95 \cdot 10^4}{1 - 1{,}0 \cdot 0{,}70} = 22 \cdot 10^5 \frac{Дж}{дм^2} \approx 22000 \frac{кгс}{см^2}.$$

Как видим, при сгорании всего заряда в каморе орудия до начала движения снаряда (при мгновенном сгорании заряда) давление пороховых газов может достигнуть нескольких десятков тысяч атмосфер, что значительно превышает допустимое по условиям прочности ствола давление.

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПИРОДИНАМИКИ

§ 2.1. РАСШИРЕНИЕ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ

При движении снаряда по каналу ствола орудия происходят расширение пороховых газов и переход тепловой энергии газов в механическую работу, основная и полезная часть которой равна кинетической энергии снаряда; при этом температура пороховых газов будет понижаться.

В кинетическую энергию снаряда переходит 25—40% всей тепловой энергии, выделяющейся при сгорании порохового заряда. Приблизительно половина всей тепловой энергии пороховых газов при выстреле выбрасывается в атмосферу в виде тепловой энергии струи газов и рассеивается. Некоторая часть тепловой энергии (1—10%) переходит в кинетическую энергию пороховых газов и также в значительной степени теряется при истечении пороховых газов из канала ствола. При этом в атмосфере возникают разнообразные явления, связанные с преобразованием энергии: перемешивание и нагрев воздуха, возникновение ударных волн (дульной волны), свечение струи газов (дульное пламя), электризация облака пороховых газов, химические реакции и т. п. Большинство перечисленных явлений играет отрицательную роль.

Кинетическая и тепловая энергия пороховых газов в орудиях с дульным тормозом частично (до 1% всей тепловой энергии) полезно расходуется на работу дульного тормоза для уменьшения силы отдачи. На откат ствола, т. е. в кинетическую энергию откатных частей орудия, переходит 0,5—1% всей тепловой энергии. Тепловая энергия пороховых газов и кинетическая энергия откатных частей орудия в незначительных количествах используются для совершения полезных работ, например для заряжания орудия в автоматах, наката ствола, продувки канала ствола (эжектирование) и т. д. Некоторая часть тепловой энергии пороховых газов (до 5%) посредством теплопередачи переходит в стенки ствола, а затем в охлаждающую ствол жидкость или в атмосферу.

Считая, что расширение пороховых газов орудия происходит без теплообмена, т. е. адиабатически, на основании первого закона

термодинамики можно получить основное уравнение пиродинамики, описывающее процесс расширения пороховых газов в орудии. Для адиабатического процесса сумма работ $\sum A_l$, совершенных пороховыми газами массой $\omega\phi$ при расширении, равна изменению их внутренней тепловой энергии:

$$\sum A_l = (U_1 - U)\,\omega\psi, \tag{2.1}$$

где U_1 — тепловая энергия 1 кг пороховых газов в момент их образования;

U — тепловая энергия 1 кг пороховых газов в рассматриваемый момент времени.

Из термодинамики известно, что

$$U = C_w T,$$

где C_w — удельная теплоемкость пороховых газов при постоянном объеме;

T — температура пороховых газов в градусах абсолютной шкалы.

Для момента образования пороховых газов будем иметь

$$U_1 = C_w T_1.$$

Тогда уравнение (2.1) получит вид

$$\sum A_l = C_w \omega\psi\,(T_1 - T). \tag{2.2}$$

Воспользуемся еще одним соотношением термодинамики:

$$\frac{R}{C_p - C_w} = 1, \tag{2.3}$$

где R — удельная газовая постоянная;

C_p — удельная теплоемкость пороховых газов при постоянном давлении.

Введем параметр расширения пороховых газов θ, определяемый равенством

$$\theta = k - 1, \tag{2.4}$$

в котором k представляет собой показатель адиабаты:

$$k = \frac{C_p}{C_w}. \tag{2.5}$$

Можем записать

$$\theta = \frac{C_p - C_w}{C_w},$$

после чего выражение (2.4) для θ примет вид

$$\theta = \frac{R}{C_w}. \tag{2.6}$$

Подставив в уравнение (2.2) величину C_w, получим

$$\sum A_l = \frac{R}{\theta}\omega\psi\,(T_1 - T). \tag{2.7}$$

Раскрывая скобки и при условии, что $RT_1 = f$, будем иметь

$$\sum A_l = \frac{f\omega\psi}{\theta} - \frac{RT}{\theta}\omega\psi. \tag{2.8}$$

Произведение RT заменим с помощью уравнения состояния (1.12)

$$p\,(w - \alpha) = RT,$$

где w — удельный объем пороховых газов в заснарядном пространстве.

Учитывая, что

$$w = \frac{W_0 - \frac{\omega}{\delta}(1 - \psi) + sl}{\omega\psi},$$

найдем

$$RT = p\,\frac{W_0 - \frac{\omega}{\delta}(1 - \psi) - \alpha\omega\psi + sl}{\omega\psi},$$

или, используя выражение (1.35) для приведенной длины свободного объема каморы l_ψ:

$$RT = \frac{ps\,(l_\psi + l)}{\omega\psi}. \tag{2.9}$$

Подставляя это выражение в уравнение (2.8), получим

$$\sum A_l = \frac{f\omega\psi}{\theta} - \frac{ps\,(l_\psi + l)}{\theta}, \tag{2.10}$$

или

$$ps\,(l_\psi + l) = f\omega\psi - \theta\sum A_l. \tag{2.11}$$

Это и есть основное уравнение пиродинамики.

Под величиной p здесь понимается некоторое постоянное во всех точках заснарядного пространства среднее давление пороховых газов, называемое **баллистическим давлением.**

Основное уравнение пиродинамики выражает собой закон сохранения энергии при выстреле. Оно записывается для произвольного момента времени, когда сгорит ψ-я часть порохового заряда, а снаряд пройдет путь l и будет иметь скорость v. В правой части уравнения (2.10) стоит разность внутренней (тепловой) энергии образовавшихся пороховых газов до их расширения и после расширения (выражена в единицах работы). В левой части стоит механическая работа, которую совершат пороховые газы к рассматриваемому моменту времени.

Сила пороха f определяет работоспособность 1 кг пороха, а произведение $f\omega\psi$ — работоспособность сгоревшей части заряда при изобарном процессе расширения пороховых газов. При этом

часть тепла, выделяемого сгоревшим порохом, будет тратиться на поддержание постоянного давления. При адиабатическом процессе расширения пороховых газов, который происходит в орудии, все тепло идет на совершение работы. Поэтому для получения величины тепловой энергии произведение $f\omega\psi$ делится на параметр расширения θ, который, следовательно, численно равен отношению работы расширения газов изобарного и адиабатического процессов. Величина θ для пороховых газов в среднем равна 0,2, т. е. работа пороховых газов при изобарном процессе составляет 20% работы при адиабатическом процессе.

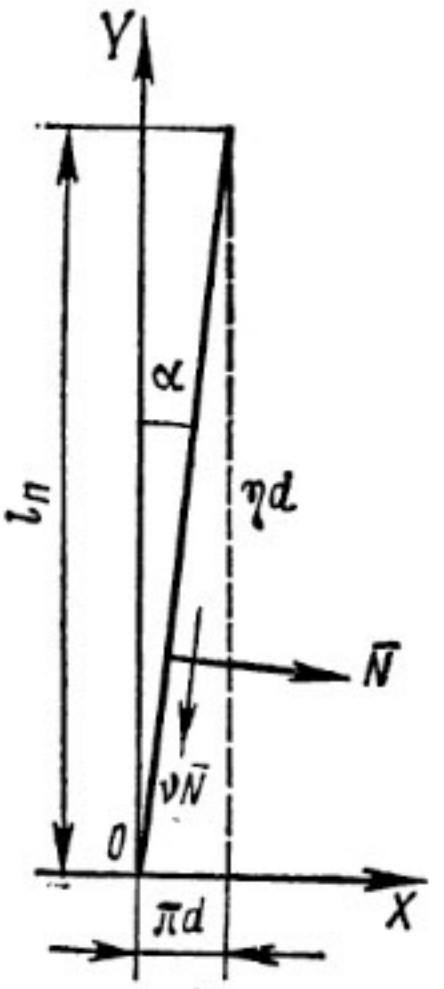


Рис. 2.1. Нарезка постоянной крутизны

§ 2.2. ДВИЖЕНИЕ СНАРЯДА В КАНАЛЕ СТВОЛА

В нарезном стволе артиллерийского орудия снаряд совершает поступательное и вращательное движения. Движущей силой, приводящей в движение снаряд, является сила давления пороховых газов, равная проекции на ось канала ствола элементарных сил давления пороховых газов, действующих на запоясковую часть снаряда. Давление пороховых газов у дна снаряда $p_{сн}$ будет меньше среднего баллистического давления p и, тем более, давления у дна канала ствола $p_{кн}$, так как процесс расширения пороховых газов (волна расширения), происходящий вследствие поступательного движения снаряда, всегда начинается у дна снаряда и затем распространяется к дну каморы. При этом в результате перепада давлений пороховые газы и несгоревший порох получают также поступательное движение. Величина движущей силы $F_д$ определяется так:

$$F_д = sp_{сн}. \qquad (2.12)$$

Кроме движущей силы на снаряд будут действовать силы реакции ствола, возникающие на поверхностях контакта снаряда со стенками ствола.

Нарезной ствол на участке длиной $l_н$ имеет нарезку постоянной или прогрессивной крутизны. Если ствол разрезать по образующей и развернуть на плоскость, то при постоянной крутизне направление нареза совпадает с направлением прямой линии, идущей под углом α к образующей канала ствола (рис. 2.1). Угол α называется **углом наклона нарезов.** Расстояние $l_п$ по оси канала ствола, на котором нарез делает полный оборот, называется **длиной хода нареза.** Относительная длина хода нареза обозначается через η:

$$\eta = \frac{l_п}{d}. \qquad (2.13)$$

Нарезка прогрессивной крутизны обычно выбирается так, что ее развертка на плоскость дает параболу второго порядка. Угол наклона нарезов будет возрастать от α_0 в начале нарезов до $\alpha_д$ в дульном срезе ствола.

Движение снаряда по каналу ствола начинается при некотором давлении пороховых газов $p_н$, достаточном для начала врезания ведущих поясков в нарезы или для начала освобождения

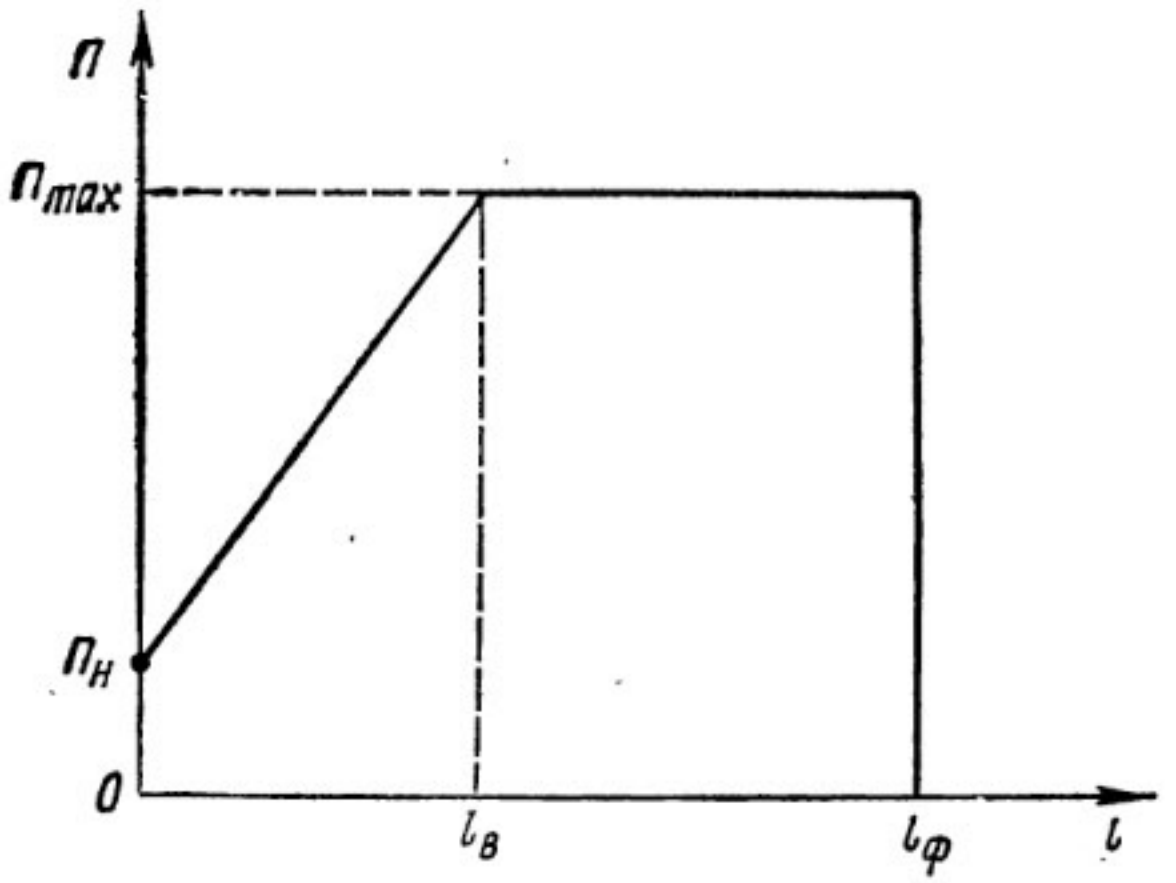


Рис. 2.2. Сопротивление врезанию ведущего пояска

снаряда из дульца гильзы. Участок между положениями дна снаряда в момент начала движения и в момент полного врезания ведущих поясков в нарезы называется **участком форсирования.**

На участке форсирования происходит врезание ведущих поясков снаряда в нарезы. При этом со стороны ствола на ведущий поясок снаряда будет действовать сила реакции, проекция которой на ось канала ствола называется **силой сопротивления врезанию** $F_{вр}$. Обычно рассматривают величину сопротивления врезанию П:

$$П = \frac{F_{вр}}{s}, \qquad (2.14)$$

которую определяют экспериментально путем продавливания снаряда через канал ствола.

На рис. 2.2 приведена упрощенная зависимость сопротивления врезанию от пути снаряда. В случае раздельного заряжания орудия снаряд начинает врезаться в нарезы при $П = П_н$, затем на протяжении пути $l_в$, соответствующем ширине ведущего пояска, сопротивление врезанию линейно возрастает до $П = П_{max}$ и далее остается постоянным до конца участка форсирования $l_ф$. При дальнейшем движении снаряда сопротивление движению будет незначительным. Таким образом, началу движения снаряда отвечает условие

$$p_н = П_н, \qquad (2.15)$$

причем при патронном заряжании за величину $П_н$ следует принимать усилие распатронирования выстрела.

В случае патронного заряжания или при недосыле снаряда при раздельном заряжании на начальном отрезке участка форсирования длиной $l_{св}$ врезание ведущих поясков снаряда будет отсутствовать, а затем после свободного пробега снаряда начинается врезание ведущих поясков при некоторой скорости снаряда $v_{св}$, т. е. с ударом.

При движении снаряда по каналу ствола после врезания ведущих поясков со стороны боевой грани каждого нареза на выступ ведущего пояска действуют нормальные поверхностные силы, равнодействующая которых называется нормальной реакцией боевой грани N (рис. 2.1). Кроме того, на боковую поверхность каждого выступа ведущего пояска действует сила трения, равная νN, где ν — коэффициент трения.

Вследствие обжатия ведущего пояска при его врезании в нарезы на наружную поверхность выступа будут действовать радиальные поверхностные силы, приводящие к радиальной силе Φ и силе трения $\nu\Phi$. Обычно этими силами пренебрегают.

Таким образом, после врезания ведущих поясков со стороны каждого нареза к снаряду будет приложена сила реакции $\overline{R}_н$, равная геометрической сумме сил $\overline{N}$ и $\nu\overline{N}$:

$$\overline{R}_н = \overline{N} + \overline{\nu N}.$$

Из рис. 2.1 видно, что составляющие силы $\overline{R}_н$ по осям $0x$ и $0y$ будут равны:

$$R_x = -N\sin\alpha - \nu N\cos\alpha; \tag{2.16}$$

$$R_y = N\cos\alpha - \nu N\sin\alpha. \tag{2.17}$$

Сумма сил R_x для всех n нарезов составит силу сопротивления поступательному движению снаряда, равную nR_x и направленную вдоль оси канала ствола.

Сумма сил R_y для всех n нарезов создаст момент, вращающий снаряд вокруг его оси и равный $\frac{d}{2}nR_y$.

Запишем уравнения поступательного движения снаряда

$$q\frac{dv_a}{dt} = sp_{сн} - nR_x \tag{2.18}$$

и вращательного движения снаряда

$$A\frac{d\omega_{сн}}{dt} = \frac{d}{2}nR_y, \tag{2.19}$$

где v_a — абсолютная скорость снаряда (относительно Земли):

$$v_a = v - V = v\left(1 - \frac{V}{v}\right); \tag{2.20}$$

V — абсолютная скорость откатных частей;
$p_{сн}$ — давление пороховых газов у дна снаряда;
$\omega_{сн}$ — угловая скорость снаряда;
A — осевой момент инерции снаряда.

Уравнение поступательного движения (2.18) с учетом равенства (2.20) можно переписать в виде

$$q\frac{d}{dt}\left[v\left(1-\frac{V}{v}\right)\right]=sp_{сн}\left(1-\frac{nR_x}{sp_{сн}}\right), \qquad (2.21)$$

в котором величины $\frac{V}{v}$ и $\frac{nR_x}{sp_{сн}}$ являются величинами, малыми в сравнении с единицей. В тех случаях, когда этими величинами можно пренебречь, получим упрощенное уравнение поступательного движения снаряда

$$q\frac{dv}{dt}=sp_{сн}. \qquad (2.22)$$

Если правую часть равенства (2.21) умножить и разделить на величину баллистического давления p и, считая отношение скоростей $\frac{V}{v}$ постоянным, обозначить

$$\varphi=\frac{p}{p_{сн}}\cdot\frac{1-\frac{V}{v}}{1-\frac{nR_x}{sp_{сн}}}, \qquad (2.23)$$

то получим уравнение поступательного движения снаряда в таком виде

$$\varphi q\frac{dv}{dt}=sp. \qquad (2.24)$$

Величина φ называется **коэффициентом фиктивности**, так как позволяет путем введения фиктивной (несуществующей в действительности) массы снаряда φq свести движение снаряда к движению материальной точки, описываемому уравнением (2.24). Такой способ был предложен в 1860 г. русским артиллеристом А. П. Горловым.

Коэффициент фиктивности φ в уравнении поступательного движения учитывает разницу между относительной v и абсолютной v_a скоростями снаряда, разницу между баллистическим давлением p и давлением пороховых газов у дна снаряда $p_{сн}$ и силу сопротивления поступательному движению снаряда nR_x после врезания ведущих поясков в нарезы.

Сила сопротивления врезанию ведущих поясков в нарезы обычно не рассматривается при изучении поступательного движения снаряда. Она будет учтена в дальнейшем с помощью специального параметра внутренней баллистики — давления форсирования.

Для определения элементов вращательного движения снаряда, имеющего жесткую связь со стволом орудия, уравнение враща-

тельного движения не требуется. Поэтому оно используется для расчета силы нормальной реакции боевой грани нарезов.

Подставляя в уравнение (2.19) вместо R_y выражение (2.17), получим

$$A\frac{d\omega_{сн}}{dt} = \frac{d}{2} nN(\cos\alpha - \nu\sin\alpha),$$

откуда находим

$$N = \frac{2A\frac{d\omega_{сн}}{dt}}{nd(\cos\alpha - \nu\sin\alpha)}. \qquad (2.25)$$

Угловую скорость снаряда $\omega_{сн}$ можно выразить через окружную скорость точки $v_{окр}$, находящейся на выступе ведущего пояска:

$$\omega_{сн} = v_{окр}\frac{2}{d}.$$

Окружная скорость точки связана со скоростью поступательного движения v:

$$v_{окр} = v\,\mathrm{tg}\,\alpha,$$

поэтому будем иметь

$$\omega_{сн} = \frac{2}{d} v\,\mathrm{tg}\,\alpha.$$

Как видим, скорость вращения снаряда изменяется так же, как изменяется скорость поступательного движения снаряда, и, кроме того, зависит от угла наклона нарезов и калибра орудия. В орудиях крупного калибра скорость вращения снаряда будет меньше при прочих равных условиях, чем в орудиях малого калибра.

§ 2.3. РАБОТЫ, СОВЕРШАЕМЫЕ ПОРОХОВЫМИ ГАЗАМИ

При движении снаряда по каналу ствола пороховые газы совершают работы, затрачиваемые:

— на сообщение снаряду поступательного движения A_1;

— на вращение снаряда A_2;

— на преодоление трения между ведущими поясками и поверхностью канала ствола A_3;

— на перемещение пороховых газов и несгоревшего пороха A_4;

— на движение откатных частей орудия A_5.

Кроме перечисленных работ, которые учитываются во внутренней баллистике, пороховые газы совершают еще ряд работ: на врезание ведущих поясков снаряда в нарезы; на преодоление трения при движении продуктов горения пороха; на вытеснение воздуха из канала ствола; работу, эквивалентную потере тепловой энергии на теплоотдачу стенкам канала ствола, и др.

Работа, затрачиваемая на сообщение снаряду поступательного движения, является основной работой и выражается через кинетическую энергию снаряда

$$A_1 = s\int_0^l p_{\text{сн}}\,dl = \frac{qv^2}{2}. \qquad (2.26)$$

Остальные работы называются второстепенными. Они учитываются с помощью коэффициента учета второстепенных работ φ.

Сумма всех учитываемых во внутренней баллистике работ, совершаемых пороховыми газами при расширении и входящих в основное уравнение пиродинамики (2.11), равна

$$\sum_i A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5.$$

Вынеся за скобки основную работу A_1 и обозначая

$$K_i = \frac{A_i}{A_1},$$

получим

$$\sum_i A_i = A_1 (1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5).$$

Величина, стоящая в скобках, обозначается через φ и называется коэффициентом учета второстепенных работ:

$$\varphi = 1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5.$$

С учетом коэффициента φ выражение для ΣA_i будет иметь вид

$$\sum A_i = \varphi A_1$$

или с использованием равенства (2.26)

$$\sum A_i = \frac{\varphi q v^2}{2}. \qquad (2.27)$$

Подставив последнее выражение в уравнение (2.11), получим основное уравнение пиродинамики в окончательном виде:

$$ps(l + l_\psi) = f\omega\psi - \frac{\theta\varphi q v^2}{2}. \qquad (2.28)$$

Коэффициент φ в основном уравнении пиродинамики учитывает второстепенные работы, которые пропорциональны основной работе пороховых газов, и показывает, на сколько следует увеличить основную работу, чтобы учесть второстепенные работы.

Величина коэффициента учета второстепенных работ для обычных орудий с цилиндрическим каналом ствола практически равна величине коэффициента фиктивности. И хотя эти коэффициенты учитывают различные физические факторы и применяются в разных уравнениях, во внутренней баллистике обычно не различают

эти коэффициенты, обозначая их одним знаком φ и называя одинаково, чаще коэффициентом фиктивности.

Величина коэффициента фиктивности зависит главным образом от работы пороховых газов, затрачиваемой на перемещение продуктов горения заряда, и выражается формулой проф. В. Е. Слухоцкого

$$\varphi = K_\varphi + \frac{1}{3}\lambda_\chi \frac{\omega}{q}, \qquad (2.29)$$

где λ_χ — коэффициент, учитывающий уширение каморы;

K_φ — коэффициент, учитывающий все второстепенные работы, кроме работы A_4:

$$K_\varphi = 1 + K_2 + K_3 + K_5.$$

В табл. 2.1 приведены данные, характеризующие второстепенные работы для пушек и гаубиц.

Таблица 2.1

Орудие	K_2	K_3	K_4	K_5	φ
100-мм пушка	0,0061	0,0117	0,1125	0,0193	1,15
152-мм гаубица	0,0138	0,0126	0,0295	0,0264	1,08

Коэффициент K_4, учитывающий работу, затрачиваемую на движение продуктов горения заряда, действительно является наибольшим среди остальных коэффициентов и претерпевает наибольшие изменения в зависимости от условий заряжания. Коэффициент K_4 для пушек значительно больше по величине, чем для гаубиц, тогда как остальные коэффициенты меньше. Из таблицы видно, что второстепенные работы составляют от основной работы 15% для пушки ($\varphi = 1{,}15$) и 8% для гаубицы ($\varphi = 1{,}08$).

Коэффициент K_φ, как показал проф. В. Е. Слухоцкий, зависит от длины ствола орудия $\bar{L}_{ст}$, выраженной в калибрах (табл. 2.2).

Таблица 2.2

$\bar{L}_{ст}$	До 25	26—35	36—44	45 и более
K_φ	1,06	1,05	1,04	1,03

При вычислениях множитель λ_χ берется как среднее значение $\lambda_{\chi\,ср}$, которое находится с помощью табл. 2.3.

Таблица 2.3

χ \ Δ	0	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
1:1	0,909	0,926	0,937	0,951	0,966	0,978
1,5	0,667	0,730	0,768	0,816	0,879	0,921
2,0	0,500	0,594	0,654	0,726	0,822	0,879
4,0	0,250	0,392	0,480	0,588	0,732	0,819

Примечание. $\lambda = \frac{l}{l_0}$ — относительный путь снаряда.

Из выражения для коэффициента фиктивности

$$\varphi = K_\varphi + \frac{1}{3}\lambda_\chi \frac{\omega}{q}$$

видно, что при увеличении относительной массы заряда $\frac{\omega}{q}$, т. е. при увеличении массы заряда ω и при уменьшении массы снаряда q, величина коэффициента и, следовательно, потери энергии пороховых газов возрастают. Это обстоятельство является причиной существенных трудностей, возникающих при стремлении увеличить начальную скорость снаряда.

Основное уравнение пиродинамики (2.28) позволяет найти так называемую **предельную скорость** $v_{пр}$, которую снаряд достигает после сгорания заряда ($\psi = 1$) при полном расширении пороховых газов ($p = 0$):

$$v_{пр} = \sqrt{\frac{2f\omega}{\theta\varphi q}}. \qquad (2.30)$$

Чем больше предельная скорость, тем больше и в той же пропорции начальная скорость снаряда. Для оптимально спроектированных орудий начальная скорость составляет приблизительно половину предельной скорости.

Формула (2.30) показывает основные пути повышения начальной скорости: за счет увеличения силы пороха и массы порохового заряда, а также за счет уменьшения массы снаряда (например, за счет применения подкалиберных снарядов). Из формулы видно, что наши возможности повышения начальной скорости не беспредельны. При уменьшении массы снаряда с учетом выражения для коэффициента фиктивности величина предельной скорости не может быть более величины $v^*_{пр}$, которая получается при $q = 0$:

$$v^*_{пр} = \sqrt{\frac{6f}{\theta\lambda_\chi}}. \qquad (2.31)$$

При подстановке значений параметров $f = 981\,000 \frac{Дж}{кг}$, $\theta = 0{,}2$ $\lambda_\chi = 1$ получим предельную скорость, равную 5426 м/с. Реальная наибольшая начальная скорость, которую можно достичь в классическом артиллерийском орудии, будет меньше и не может превзойти величину порядка 3000 м/с.

§ 2.4. ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ

В момент вылета, когда дно снаряда пройдет через дульный срез ствола, начнется процесс истечения пороховых газов из канала ствола орудия. Давление пороховых газов будет уменьшаться от величины $p_д$ до атмосферного давления $p_а$.

Период времени от момента вылета до момента, когда давление газов в канале ствола сравняется с атмосферным, называется **периодом последействия пороховых газов на орудие.** Продолжительность периода измеряется сотыми долями секунды.

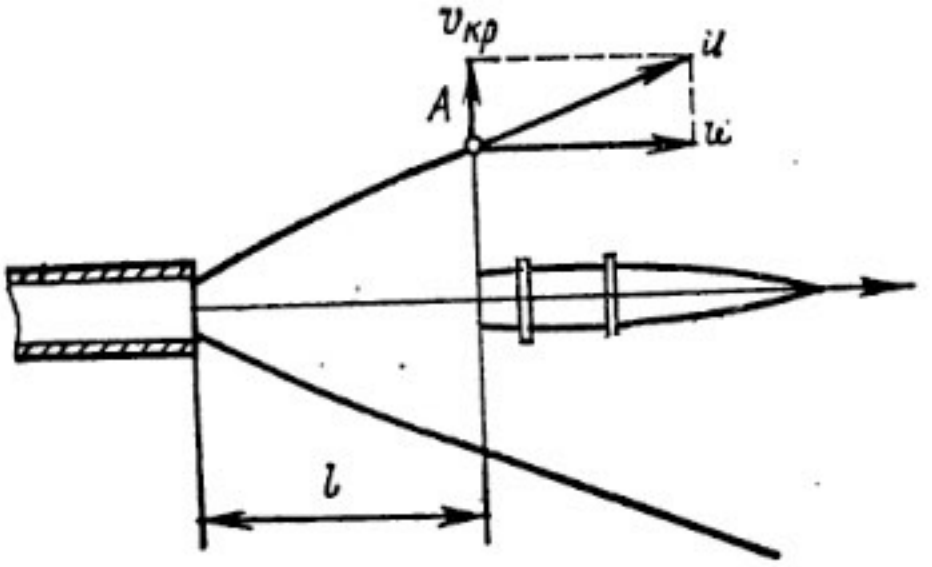


Рис. 2.3. Струя пороховых газов

При истечении пороховых газов образуется газовая струя (рис. 2.3), которая в первые моменты будет обгонять снаряд, сообщая ему дополнительную скорость, пока скорость струи не сравняется со скоростью снаряда. После этого действие газов на снаряд будет выражаться в том, что при движении в газовой струе снаряд будет испытывать меньшее сопротивление среды, чем при движении в невозмущенной атмосфере.

Период времени от момента вылета до момента, когда снаряд покинет струю пороховых газов, называется **периодом последействия пороховых газов на снаряд.** Продолжительность периода измеряется тысячными долями секунды.

Основными характеристиками процесса истечения газов являются:

— скорость истечения $w_{ист}$

$$w_{ист} = \varphi_1 \sqrt{2 \frac{1+\theta}{2+\theta} \cdot \frac{p}{\gamma}}; \qquad (2.32)$$

— секундный расход газов G

$$G = \varphi_2 A^* s_{кр} p. \qquad (2.33)$$

В формулы (2.32) и (2.33) вошли следующие величины:

p и γ — давление и плотность пороховых газов внутри ствола в сечении, где скорость газов $w = 0$;

$s_{кр}$ — площадь критического сечения струи газов;

A^* — параметр, зависящий от величины θ и силы пороха f:

$$A^* = \left(\frac{2}{2+\theta}\right)^{1/\theta} \sqrt{2 \frac{1+\theta}{(2+\theta) f}};$$

φ_1 и φ_2 — коэффициенты потери скорости истечения и секундного расхода, меньшие единицы.

При рассмотрении последействия пороховых газов на орудие необходимо знать характер изменения давления газов в канале ствола в период последействия, которое определяется с помощью уравнения адиабаты

$$p\left(\frac{1}{\gamma}\right)^{1+\theta} = p_{д}\left(\frac{1}{\gamma_{д}}\right)^{1+\theta}, \tag{2.34}$$

где γ — плотность пороховых газов в данный момент времени:

$$\gamma = \frac{\omega - \int_0^t G\,dt}{W_0 + sl_{д}}. \tag{2.35}$$

Можно получить величину давления пороховых газов в канале ствола в любой момент периода последействия:

$$p = \frac{p_{д}}{(1 + Bt)^{\frac{2(1+\theta)}{\theta}}}, \tag{2.36}$$

где

$$B = \frac{\varphi_1 s A^* \theta}{2\omega} p_{д}^{\frac{1}{1+\theta}}. \tag{2.37}$$

При рассмотрении последействия пороховых газов на снаряд наибольший интерес представляют вопросы о приращении скорости снаряда и о силах, действующих на детали взрывателей. В первом приближении можно полагать, что на снаряд действует только сила давления пороховых газов на его дно $P_{сн}$. Тогда уравнение движения снаряда в период последействия будет иметь вид

$$q\frac{dv}{dt} = p_{сн}. \tag{2.38}$$

Для решения этого уравнения необходимо знать силу $P_{сн}$. Возьмем в газовой струе произвольное поперечное сечение (рис. 2.3) площадью σ, которое перемещается вместе со снарядом со скоростью v. Обозначим скорость частиц газа в направлении оси газовой струи через w. Скорость газа относительно рассматриваемого сечения будет равна $w - v$, а изменение количества движения газов $M_г$, проходящих через это сечение за 1 с:

$$M_г = G(w - v). \tag{2.39}$$

Из теоретической механики известно, что изменение количества движения за 1 с равно силе.

Учитывая, что площадь дна снаряда s меньше, чем сечение струи σ, в $\frac{\sigma}{s}$ раз, будем считать, что и сила, приложенная к дну

снаряда, будет во столько же раз меньше величины изменения количества движения газов. Поэтому найдем

$$p_{\text{сн}} = k \frac{s}{\sigma} G (w - v), \tag{2.40}$$

где k — коэффициент согласования, косвенно учитывающий сопротивление воздуха и приближенно равный 0,7.

Для вычисления приращения скорости в периоде последействия необходимо проинтегрировать уравнение (2.38) с дополнительными уравнениями типа равенства (2.40).

Расчеты и опыты показывают, что приращение скорости снаряда в периоде последействия лежит в пределах 0,5—2%. Длина пути снаряда $l_{\text{пд}}$ за период последействия приближенно может быть найдена с помощью экспериментальной формулы

$$\frac{l_{\text{пд}}}{d} = 75 \frac{\omega}{q}. \tag{2.41}$$

Изучение периода последействия пороховых газов имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение.

ГЛАВА 3

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

§ 3.1. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

При решении основной задачи внутренней баллистики рассматривают три периода: предварительный, первый и второй. Период форсирования учитывается косвенно, а период последействия рассматривается дополнительно.

Основная задача внутренней баллистики решается при следующих допущениях:

1. Горение пороха подчиняется геометрическому закону горения.

2. Расширение пороховых газов происходит адиабатически, т. е. теплоотдача от пороховых газов не происходит.

3. Состав пороховых газов при горении пороха и расширении пороховых газов не изменяется.

4. Справедлив линейный закон скорости горения пороха.

5. Давление пороховых газов в данный момент времени одинаково во всех точках заснарядного пространства.

6. Второстепенные работы, затрачиваемые пороховыми газами на вращение снаряда, преодоление трения между ведущими поясками снаряда и поверхностью канала ствола, перемещение продуктов горения заряда, перемещение откатных частей, пропорциональны основной работе и учитываются с помощью коэффициента фиктивности.

7. Сила сопротивления поступательному движению снаряда, а также разница между определяемыми во внутренней баллистике скоростью снаряда относительно ствола v и баллистическим давлением p, с одной стороны, и скоростью снаряда относительно Земли и давлением пороховых газов на дно снаряда, с другой стороны, могут быть учтены с помощью коэффициента фиктивности.

8. Период форсирования не рассматривается, а сила сопротивления врезанию учитывается через начальные условия движения снаряда в первом периоде.

9. Параметр расширения пороховых газов не изменяется во время выстрела.

Схема явления выстрела, отвечающая принятым допущениям, в первом приближении соответствует действительному характеру явления выстрела в классическом орудии, имеющем ствол с закрытым сзади цилиндрическим каналом. Эта схема позволяет с достаточной точностью решить большинство задач, которые выдвигает практика перед внутренней баллистикой.

В предыдущих главах были изучены четыре основных процесса явления выстрела и получены уравнения, характеризующие эти процессы.

Процесс горения пороха описывается уравнением (1.17)

$$u = u_1 \cdot p. \tag{3.1}$$

Процесс образования пороховых газов описывается уравнением (1.24)

$$\psi = \varkappa z (1 + \lambda z). \tag{3.2}$$

Процесс расширения пороховых газов описывается основным уравнением пиродинамики (2.28)

$$ps (l + l_\psi) = f\omega\psi - \frac{\theta\varphi q v^2}{2}. \tag{3.3}$$

Процесс поступательного движения снаряда описывается уравнением (2.24)

$$\varphi q \cdot \frac{dv}{dt} = ps. \tag{3.4}$$

Четыре уравнения содержат восемь переменных величин: u, p, ψ, z, l_ψ, l, v, t. Для того чтобы система уравнений стала полной, добавим к этим уравнениям еще введенные ранее соотношения между переменными величинами:

$$\frac{dl}{dt} = v; \tag{3.5}$$

$$\frac{de}{dt} = u; \tag{3.6}$$

$$z = \frac{e}{e_1}; \tag{3.7}$$

$$l_\psi = l_0 \left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right) \Delta\psi\right]. \tag{3.8}$$

К исходным уравнениям пришлось добавить не три, а четыре зависимости, так как в них входит девятая переменная e. Таким образом, получена система из восьми уравнений, в которую входят девять переменных. Решив эту систему, можно выразить восемь из перечисленных переменных величин — функций — через любую девятую величину, принятую за аргумент.

Переменные величины u и e не представляют интереса и могут быть исключены из полученной системы.

Введем понятие **импульса давления пороховых газов** I с помощью равенства

$$I = \int_0^{t'} p dt, \tag{3.9}$$

где t' — время горения порохового заряда.
Переходя от переменной t' к переменной e с помощью формул (3.6) и (3.1), из которых следует

$$dt = \frac{de}{u_1 p},$$

получим

$$I = \int_0^e \frac{de}{u_1} = \frac{e}{u_1}, \tag{3.10}$$

где e — толщина слоя сгоревшего пороха к моменту времени t.

Полному времени горения пороха $t_к'$ отвечает **конечный импульс давления пороховых газов** $I_к$:

$$I_к = \int_0^{t_к'} p dt = \frac{2e_1}{2u_1}. \tag{3.11}$$

Размерность импульса давления пороховых газов $\left[\frac{Н \cdot с}{м^2}\right]$.

Из формулы (3.11) видно, что величина $I_к$ зависит от толщины горящего слоя порохового зерна $2e_1$ и через величину $2u_1$ от сорта пороха и начальной его температуры. Величина $I_к$ не зависит от других условий заряжания и, в частности, от плотности заряжания и формы пороха.

С помощью импульса давления пороховых газов можно дать новое определение величины z. Вводя в формулу (3.7) с помощью равенств (3.10) и (3.11) величины I и $I_к$, получим

$$z = \frac{I}{I_к}. \tag{3.12}$$

Следовательно, величину z можно рассмотреть как относительный импульс давления пороховых газов; в таком определении она имеет физический смысл и по окончании горения пороха, принимая значение $z > 1$.

Вместо уравнений (3.6) и (3.7) воспользуемся уравнением, полученным путем дифференцирования по переменной t уравнения (3.12) с учетом равенства (3.10):

$$\frac{dz}{dt} = \frac{p}{I_к}. \tag{3.13}$$

Новое определение величины z и уравнение (3.13) позволяют решать задачи для физического закона горения пороха, применяя

вместо уравнения (3.2) полученный из опыта действительный закон образования пороховых газов в виде табличной или графической зависимости

$$\psi = f(z).$$

Таким образом, система уравнений внутренней баллистики принимает вид

$$\left.\begin{aligned} \psi &= \varkappa z(1+\lambda z);\\ p &= f\omega\frac{\psi - \frac{\theta\varphi q v^2}{2f\omega}}{s(l+l_\psi)};\\ \varphi q\frac{dv}{dt} &= sp;\\ \frac{dl}{dt} &= v;\ \frac{dz}{dt} = \frac{p}{I_к};\\ l_\psi &= l_0\left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\Delta\psi\right]. \end{aligned}\right\} \qquad (3.14)$$

Система уравнений (3.14) содержит семь переменных и шесть уравнений: три дифференциальных и три алгебраических. Эта система является замкнутой и допускает единственное решение, в результате которого получим пиродинамические элементы в любой момент времени t.

Как указывалось раньше, отсчет времени t начинается от момента начала движения снаряда, т. е. как бы допускается, что все процессы в предварительном периоде происходят мгновенно.

При решении системы (3.14) процесс врезания ведущих поясков снаряда в нарезы учитывается косвенно и приближенно с помощью так называемого давления форсирования. Будем считать, что движение снаряда начинается в момент, когда давление пороховых газов в каморе достигает величины давления форсирования p_0. При этом сгорит часть пороха, определяемая величинами ψ_0 и z_0.

На основании общей формулы пиростатики (1.36) будем иметь

$$p_0 = \frac{f\Delta\psi_0}{1 - \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\Delta\psi_0}. \qquad (3.15)$$

Решая это уравнение относительно ψ_0, найдем

$$\psi_0 = \frac{\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\delta}}{\frac{f}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\delta}}. \qquad (3.16)$$

Зная величину ψ_0, можем найти z_0 на основании уравнения (3.2)

$$\psi_0 = \varkappa z_0(1+\lambda z_0), \qquad (3.17)$$

которое является квадратным уравнением относительно z_0. Учитывая малость величины z_0 по сравнению с единицей, в первом приближении можно пренебречь величиной λz_0 и записать

$$z_{0,1} = \frac{\psi_0}{\varkappa}. \tag{3.18}$$

Для определения z_0 во втором приближении, которое можно признать окончательным, подставляем $z_{0,1}$ в скобку правой части равенства (3.17), в результате чего получим

$$z_0 = z_{0,2} = \frac{\psi_0}{\varkappa(1 + \lambda z_{0,1})},$$

или после замены $z_{0,1}$ выражением (3.18)

$$z_0 = \frac{\psi_0}{\varkappa + \lambda\psi_0}. \tag{3.19}$$

Начальное значение величины l_ψ будет равно

$$l_{\psi_0} = l_0\left[1 + \frac{\Delta}{\delta} - \left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\Delta\psi_0\right]. \tag{3.20}$$

Таким образом, при учете процесса врезания ведущих поясков в нарезы с помощью давления форсирования систему уравнений (3.14) необходимо решать при следующих начальных условиях: $t=0$, $v=0$, $l=0$, $z=z_0$.

Для новых стволов орудий наземной артиллерии можно принимать следующие средние значения величины давления форсирования: снаряд с двумя ведущими поясками — $500 \cdot 10^5$ Н/м^2; снаряд с одним ведущим пояском — $300 \cdot 10^5$ Н/м^2; снаряд с обтюрирующим пояском — $100 \cdot 10^5$ Н/м^2.

§ 3.2. РЕШЕНИЕ ОСНОВНОЙ ЗАДАЧИ

Во внутренней баллистике решаются прямая и обратная задачи.

Прямая задача состоит в отыскании пиродинамических элементов по заданным параметрам внутренней баллистики. При этом считается, что артиллерийская система существует.

Обратная задача состоит в отыскании параметров внутренней баллистики по заданным пиродинамическим элементам. Эта задача решается при проектировании новой или при модернизации существующей артиллерийской системы.

При решении основной задачи используют систему уравнений внутренней баллистики (3.14), которую предварительно приводят к виду, удобному для интегрирования.

Обычно вместо пути снаряда l вводят относительный путь Λ:

$$\Lambda = \frac{l}{l_0}. \tag{3.21}$$

Кроме того, ряд параметров внутренней баллистики объединяют в сложный параметр B:

$$B = \frac{s^2 l_к^2}{f \omega \varphi q}, \tag{3.22}$$

называемый **параметром заряжания** проф. Н. Ф. Дроздова.

Система уравнений внутренней баллистики допускает точное аналитическое решение, которое впервые было получено проф. Н. Ф. Дроздовым в 1903 г.

В точных аналитических методах решение получается в виде сложных выражений, содержащих квадратуры, т. е. определенные интегралы от известных функций, причем эти интегралы не выражаются через элементарные функции, и для их вычисления необходимо составить специальные таблицы.

Для решения ряда задач используются приближенные аналитические методы, основанные на интегрировании системы уравнений внутренней баллистики при некоторых дополнительных упрощающих допущениях. Одним из наиболее удобных приближенных аналитических методов является метод проф. В. Е. Слухоцкого.

В случае когда необходимо построить пиродинамические кривые, а следовательно, требуется произвести вычисления для большого количества точек, целесообразно использовать **метод численного интегрирования** системы уравнений внутренней баллистики, первоначально разработанный акад. А. Н. Крыловым в 1917 г.

С помощью метода численного интегрирования могут быть составлены таблицы пиродинамических элементов, позволяющие быстро и достаточно точно решать многие практические задачи. Таблицы, содержащие пиродинамические элементы, относящиеся к произвольной точке и к опорным точкам пиродинамических кривых, называются **таблицами внутренней баллистики.** Метод решения задач с помощью таблиц внутренней баллистики называется **табличным методом.** Первые в нашей стране таблицы внутренней баллистики были составлены в 1910 г. проф. Н. Ф. Дроздовым. Наиболее распространенными в настоящее время таблицами являются таблицы внутренней баллистики ГАУ, составленные в 1942 г. путем численного интегрирования системы уравнений внутренней баллистики.

В результате интегрирования системы уравнений внутренней баллистики можно получить соотношения между основными пиродинамическими элементами в произвольной точке ϕ, p, v, t, Λ и параметрами внутренней баллистики:

$$\left.\begin{aligned}
\psi &= f_0(\Lambda, \Delta, B, f, \alpha, \delta, \theta, p_0, \varkappa);\\
p &= f_1(\Lambda, \Delta, B, f, \alpha, \delta, \theta, p_0, \varkappa);\\
v &= \sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}\, f_2(\Lambda, \Delta, B, f, \alpha, \delta, \theta, p_0, \varkappa);\\
t &= \sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}\, l_0 f_3(\Lambda, \Delta, B, f, \alpha, \delta, \theta, p_0, \varkappa).
\end{aligned}\right\} \tag{3.23}$$

В системе уравнений (3.23) через f_0, f_1, f_2, f_3 обозначены некоторые функции от аргумента Λ и параметров Δ, B, f, α, δ, θ, p_0, $\varkappa$. В двух последних уравнениях имеются еще множители $\sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}$ и l_0.

Значение пиродинамических элементов, отвечающих наибольшему давлению пороховых газов при $\Lambda=\Lambda_m$ и моменту окончания горения порохового заряда при $\Lambda=\Lambda_к$, определяются соответственно условиями

$$\left(\frac{dp}{d\Lambda}\right)_m = 0; \tag{3.24}$$

$$\psi_к = 1. \tag{3.25}$$

Условие (3.24) отвечает случаю аналитического максимума давления. В случае неаналитического максимума наибольшее давление пороховых газов достигается в момент окончания горения порохового заряда, т. е. определяется условием (3.25). Подставляя в условие (3.24) второе уравнение системы (3.23), получим

$$\left[\frac{\partial}{\partial\Lambda} f_1(\Lambda,\ \Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa)\right]_m = 0$$

и, решая это уравнение относительно Λ_m, найдем

$$\Lambda_m = \varphi_1(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa). \tag{3.26}$$

Подставляя найденное значение Λ_m в три последних уравнения системы (3.23), будем иметь

$$\left.\begin{aligned} p_m &= \varphi_2(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa);\\ v_m &= \sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}\,\varphi_3(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa);\\ t_m &= \sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}\,l_0\,\varphi_4(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa). \end{aligned}\right\} \tag{3.27}$$

Подставляя условие (3.25) в первое уравнение системы (3.23), получим

$$f_0(\Lambda_к,\ \Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa) = 1.$$

Решая это уравнение относительно $\Lambda_к$, найдем

$$\Lambda_к = \varphi_5(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa). \tag{3.28}$$

Подставляя найденное значение $\Lambda_к$ в три последних уравнения системы (3.23), будем иметь

$$\left.\begin{aligned} p_к &= \varphi_6(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa);\\ v_к &= \sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}\,\varphi_7(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa);\\ t_к &= \sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}\,l_0\,\varphi_8(\Delta,\ B,\ f,\ \alpha,\ \delta,\ \theta,\ p_0,\ \varkappa). \end{aligned}\right\} \tag{3.29}$$

Можно показать, что при интегрировании системы уравнений внутренней баллистики во втором периоде получаются в общем виде зависимости пиродинамических элементов v, p, t в произвольной точке от аргумента Λ и параметров, аналогичные зависимостям (3.23). Понятно, что в выражениях (3.23) для второго периода вид функции соответственно f_4, f_5, f_6, f_7 будет другим.

Анализ равенств (3.26), (3.28), (3.27) и (3.29) показывает, что для нахождения пиродинамических элементов в опорных точках m и κ необходимо иметь значения следующих 10 параметров:

Δ, B, $\sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}$, l_0, f, α, δ, θ, p_0, $\varkappa$.

Из анализа уравнений (3.23) видно, что для нахождения пиродинамических элементов для дульного среза (в опорной точке д) необходимо дополнительно знать величину $\Lambda_д$:

$$\Lambda_д = \frac{l_д}{l_0}. \tag{3.30}$$

Зная перечисленные выше параметры и задаваясь произвольным значением аргумента Λ (между значениями 0 и $\Lambda_д$), можно найти пиродинамические элементы в произвольной точке. Так решаются прямые задачи.

Одной из важнейших обратных задач является задача баллистического проектирования артиллерийского орудия, состоящая в нахождении таких конструктивных параметров и параметров условий заряжания, при которых спроектированное орудие будет сообщать снаряду данных калибра и массы требуемую начальную скорость и при этом наилучшим образом удовлетворять тактико-техническим требованиям.

Баллистическое проектирование является первым и одним из важнейших этапом создания новой артиллерийской системы. В математическом отношении задача баллистического проектирования является неопределенной, так как число условий (уравнений) для нахождения параметров внутренней баллистики будет меньше числа искомых параметров. Поэтому ряд параметров приходится задавать на основе анализа существующих артиллерийских систем и, кроме того, рассматривать не один, а множество вариантов баллистического решения.

Методы баллистического проектирования указывают путь, по которому следует идти в поисках окончательного варианта баллистического решения, наилучшим образом отвечающего тактико-техническим требованиям, или, другими словами, наивыгоднейшего варианта.

Основными этапами баллистического проектирования являются: выбор исходных данных, расчет отдельных вариантов, выбор окончательного варианта, построение расчетных пиродинамических кривых. Обычно расчетные пиродинамические кривые строятся для трех значений температуры заряда: $+15°$ С, $+40°$ С, $-40°$ С — и берутся за основу при дальнейших расчетах артилле-

рийской системы — орудия, снаряда, боевого заряда. При этом величины $I_к$ и f при температуре заряда $t_з$, отличной от $+15°$ С, выражаются через величины $I_{к,\,15}$ и f_{15}, соответствующие температуре заряда $+15°$ С, с помощью формул:

$$I_к = I_{к,\,15}\,[1 - 0{,}0016\,(t_з - 15)];$$

$$f = f_{15}\left[1 + \frac{1500}{Q_w}\,(t_з - 15)\right].$$

§ 3.3. ТАБЛИЦЫ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

При практическом решении прямых и обратных задач внутренней баллистики широкое применение нашли таблицы внутренней баллистики ГАУ. Таблицы внутренней баллистики содержат заранее рассчитанные основные пиродинамические элементы в произвольной и в опорных точках.

В § 3.2 было установлено, что для первого и второго периодов явления выстрела все пиродинамические элементы зависят от аргумента — относительного пути снаряда Λ — и параметров: плотности заряжания Δ, параметра заряжания проф. Н. Ф. Дроздова B, характеристик пороха f, α, δ, θ, $\varkappa$ и давления форсирования p_0. Кроме того, скорость v и время t будут зависеть от множителя $\sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}$, а время t — еще и от приведенной длины каморы l_0.

При составлении таблиц внутренней баллистики ГАУ для уменьшения числа входных величин приняты постоянными значениями параметры, характеризующие порох, и величина давления форсирования:

$$\left.\begin{aligned} f &= 950 \cdot 10^3\ \frac{\text{кгс}\cdot\text{дм}}{\text{кгс}};\ \theta = 0{,}2;\\ \alpha &= 1{,}0\ \frac{\text{дм}^3}{\text{кгс}};\ p_0 = 300 \cdot 10^2\ \frac{\text{кгс}}{\text{дм}^2};\\ \delta &= 1{,}6\ \frac{\text{кгс}}{\text{дм}^3};\ \varkappa = 1{,}06. \end{aligned}\right\} \qquad (3.31)$$

Выбранные значения характеристик пороха отвечают пироксилиновому пороху, имеющему в среднем калорийность при воде газообразной $Q_w = 325 \cdot 10^4$ Дж/кг. Это объясняется тем, что длительное время у нас применялся только пироксилиновый порох. Значение характеристики формы $\varkappa = 1{,}06$ отвечает пороховому зерну в виде ленты, которая была наиболее употребительной в сухопутной артиллерии в начале этого столетия.

При постоянных значениях параметров f, α, δ, θ, p_0, $\varkappa$, как следует из уравнений системы (3.23), давление пороховых газов p зависит от трех величин — Λ, Δ, B, скорость v и время t зависят от тех же величин и дополнительно от множителей $\sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}$ и l_0.

Для того чтобы таблицы внутренней баллистики ГАУ были только с тремя входными величинами Λ, Δ, B, в них содержатся не действительные скорость v и время t, а табличные скорость $v_{\text{табл}}$ и время $t_{\text{табл}}$:

$$\left.\begin{aligned} v_{\text{табл}} &= f_2(\Lambda,\ \Delta,\ B); \\ t_{\text{табл}} &= f_3(\Lambda,\ \Delta,\ B)\cdot 10^6. \end{aligned}\right\} \qquad (3.32)$$

Числовой множитель 10^6 вводится для того, чтобы иметь для $t_{\text{табл}}$ более удобные числовые значения.

Действительные значения v и t, как это следует из двух последних уравнений системы (3.23), можно вычислить по формулам:

$$\left.\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}\, v_{\text{табл}}; \\ t &= 10^{-6}\sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}\, l_0\, t_{\text{табл}}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.33)$$

В таблицах внутренней баллистики ГАУ пиродинамические элементы в опорных точках будут зависеть только от двух входных величин Δ и B.

Таблицы внутренней баллистики ГАУ состоят из трех основных частей: в первой части приведены значения давлений; во второй — значения табличных скоростей; в третьей — значения табличных времен. С помощью основных трех частей решаются табличным методом прямые задачи. Для решения обратных задач составлена четвертая часть «Таблицы для баллистического расчета» (ТБР).

В таблицах внутренней баллистики ГАУ значения давлений приведены в кгс/см^2, значения табличных скоростей — в м/с, значения табличных времен — в некоторых условных единицах. После подстановки величин $v_{\text{табл}}$ и $t_{\text{табл}}$ в формулы (3.33) получаем скорости в м/с, а время в с. Следует иметь в виду, что значения l_0 при вычислении величин t берутся в дм.

Значения p, $v_{\text{табл}}$, $t_{\text{табл}}$ в таблицах приведены для значений аргумента Λ с переменным шагом в пределах от $\Lambda=0{,}1$ до $\Lambda=20{,}0$. Величина Λ введена вместо величины l из тех соображений, что значения относительной длины пути Λ изменяются в более узких пределах, чем длина пути l.

Значения плотности заряжания Δ в таблицах выбраны в пределах от $\Delta=0{,}05$ кг/дм^3 до $\Delta=0{,}95$ кг/дм^3 через 0,01 кг/дм^3.

Наибольшее значение параметра заряжания B в таблицах принято равным 4,0, а шаг изменения параметра B выбран равным 0,1. При уменьшении значений параметра B значения p_m возрастают. Наименьшее значение $B_{\min}$ параметра B при каждом значении плотности заряжания Δ выбирается таким, чтобы соответствующее значение p_m было приблизительно равно 6000 кгс/см^2.

Шаг входных величин Λ, Δ, B таблицы выбран из тех соображений, чтобы при применении линейного интерполирования величины пиродинамических элементов определялись с требуемой точностью.

Форма таблиц внутренней баллистики ГАУ для давлений имеет следующий вид:

$\Delta = \ldots$

Δ \ B	B_{min}	. . .	4,0
0,1			
•			
•			
•			
20,0			
$\Lambda_к$			
$p_к$			
Λ_m			
p_m			
B			

Форма таблиц для табличных скоростей и табличных времен отличается только тем, что величины $p_к$ и p_m заменены величинами $v_{табл,\,к}$ и $v_{табл,\,m}$ или $t_{табл,\,к}$ и $t_{табл,\,m}$ соответственно.

В таблицах для давлений и для табличных скоростей (ч. I и II) в каждом столбце тонкой горизонтальной линией отмечен интервал, в котором лежит максимум давления, а жирной чертой — интервал, в котором происходит окончание горения порохового заряда. При совпадении этих отметок имеет место неаналитический максимум давления.

В четвертой части таблиц внутренней баллистики ГАУ содержатся табличные дульные скорости $v_{табл,\,д}$, а входными величинами служат $\Lambda_д$, Δ, p_m. Кроме значений $v_{табл,\,д}$, в таблицах приведены значения $\Lambda_к$, $v_{табл,\,к}$ и B.

Таблицы для баллистического расчета имеют следующий вид:

$\Delta = \ldots$

$\Delta_д$ \ p_m	400	. . .	6000
1,0			
•			
•			
•			
20,0			
$\Lambda_к$			
$v_{табл,\,к}$			
B			

С помощью таблиц внутренней баллистики ГАУ могут быть построены пиродинамические кривые. Для этого необходимо произвести следующие вычислительные операции:

1. Вычисляем на основании исходных данных величины Δ, l_0, $\Lambda_д$, φ, B, $\sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}$ по формулам:

$$\Delta = \frac{\omega}{W_0}; \quad \Lambda_д = \frac{l_д}{l_0}; \; B = \frac{s^2 I_к^2}{f \omega \varphi q};$$

$$l_0 = \frac{W_0}{s}; \; \varphi = K_\varphi + \frac{1}{3} \lambda_{\chi\,ср} \frac{\omega}{q}.$$

2. Из таблиц внутренней баллистики ГАУ, ч. I—III интерполированием по входным величинам Δ, B и Λ определяем значения давлений, табличных скоростей и табличных времен, отвечающих ряду значений Λ в пределах от 0 до $\Lambda_д$. Табличные значения Λ выбираются такими, чтобы для построения пиродинамических кривых иметь по два-три табличных значения между $\Lambda = 0$ и $\Lambda = \Lambda_m$, между $\Lambda = \Lambda_m$ и $\Lambda = \Lambda_к$ и между $\Lambda = \Lambda_к$ и $\Lambda = \Lambda_д$. Последним табличным значением Λ должно быть ближайшее большее $\Lambda_д$ табличное значение.

3. Зная величины $v_{табл}$ и $t_{табл}$, вычисляем значения действительных скоростей и времен по формулам:

$$v = \sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}}\, v_{табл}; \; t = 10^{-6} \sqrt{\frac{\varphi q}{\omega}}\, l_0 t_{табл}.$$

4. Определяем значения длин пути снаряда l, отвечающие выбранным табличным значениям Λ, по формуле

$$l = l_0 \Lambda.$$

При построении пиродинамических кривых определяются также значения пиродинамических элементов в опорных точках, отвечающих наибольшему давлению пороховых газов, моменту окончания горения пороха и моменту вылета.

Рассмотрим конкретные примеры решения задач с помощью таблиц внутренней баллистики ГАУ.

Пример 1. Требуется рассчитать пиродинамические элементы в опорных точках при следующих исходных данных:

$d = 100$ мм; $s = 0{,}820$ дм^2; $W_0 = 11{,}0$ дм^3; $\omega = 7{,}15$ кг; $q = 16{,}0$ кг; $I_к = 1500 \cdot 10^3$ Н·с/м^2; $l_д = 55{,}3$ дм; $\chi = 1{,}34$; $K_\varphi = 1{,}03$.

Величины f, α, δ, θ, p_0, $\varkappa$ имеют значения, которые выбраны постоянными при составлении таблиц внутренней баллистики ГАУ.

Решение:

1. Вычисляем постоянные величины:

$$\Delta = \frac{7{,}15}{11{,}0} = 0{,}650 \; \frac{кг}{дм^3}; \quad \Lambda_д = \frac{55{,}3}{13{,}4} = 4{,}13;$$

$$l_0 = \frac{11{,}0}{0{,}820} = 13{,}4 \text{ дм}.$$

Из табл. 2.3 по $\Lambda_д$ и χ находим $\lambda_{\chi ср} = 0{,}903$. Тогда

$$\varphi = 1{,}03 + \frac{1}{3} 0{,}903 \frac{7{,}15}{16{,}0} = 1{,}179;$$

$$B = \frac{0{,}820^2 \cdot 10^{-2} \cdot 1500^2 \cdot 10^6}{0{,}981 \cdot 950 \cdot 10^3 \cdot 7{,}15 \cdot 1{,}179 \cdot 16{,}0} = 1{,}205;$$

$$\sqrt{\frac{\omega}{\varphi q}} = \sqrt{\frac{7{,}15}{1{,}179 \cdot 16{,}0}} = 0{,}616.$$

2. Определяем пиродинамические элементы, отвечающие наибольшему давлению пороховых газов и моменту окончания горения пороха, для чего выписываем необходимые данные из таблиц внутренней баллистики ГАУ, ч. I—III.

$\Delta = 0{,}65$	Δ \ B	1,2	1,205	1,3
Часть I	$\Lambda_к$	0,927	0,934	1,073
	$p_к$	4252	4228	3779
	Λ_m	0,645	0,645	0,643
	p_m	4424	4406	4058
Часть II	$v_{табл,\,к}$	1029	1031	1073
	$v_{табл,\,m}$	829	827	794
Часть III	$t_{табл,\,к}$	290	291	311
	$t_{табл,\,m}$	259	259	265

Интерполируя по B с интерполирующим множителем

$$K_B = \frac{1{,}205 - 1{,}2}{1{,}3 - 1{,}2} = 0{,}05,$$

определяем искомые величины, которые в таблице подчеркнуты одной чертой. Далее вычисляем действительные величины скорости и времени:

$$v_m = 0{,}616 \cdot 827 = 509 \text{ м/с}; \quad v_к = 0{,}616 \cdot 1031 = 635 \text{ м/с};$$

$$t_m = 10^{-6} \frac{1}{0{,}616} \cdot 13{,}4 \cdot 259 = 0{,}00564 \text{ с};$$

$$t_к = 10^{-6} \frac{1}{0{,}616} \cdot 13{,}4 \cdot 291 = 0{,}00634 \text{ с}.$$

Пример 2. Требуется определить полную длину пути снаряда для 100-мм пушки при следующих исходных данных:

$d = 100$ мм; $s = 0{,}820$ дм^2; $W_0 = 11{,}0$ дм^3; $\omega = 7{,}15$ кг; $q = 16{,}0$ кг; $p_m = 4100 \cdot 10^5$ Н/м^2; $v_д = 1039$ м/с; $K_\varphi = 1{,}03$; $\lambda_{\chi\,ср} = 0{,}903$.

Величины f, α, δ, θ, p_0, $\varkappa$ имеют значения, принятые при составлении таблиц внутренней баллистики ГАУ.

1. Вычисляем необходимые величины:

$$p_m = \frac{4100 \cdot 10^5}{0{,}981 \cdot 10^5} = 4180 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\Delta = \frac{7{,}15}{11{,}0} = 0{,}65 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}; \quad \varphi = 1{,}03 + \frac{1}{3} 0{,}903 \frac{7{,}15}{11{,}0} = 1{,}179;$$

$$l_0 = \frac{11{,}0}{0{,}820} = 13{,}4 \text{ дм}; \quad v_{\text{табл, д}} = \sqrt{\frac{1{,}179 \cdot 16{,}0}{7{,}15}} \cdot 1039 = 1687 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2. Из таблицы ч. IV находим значение $\Lambda_д$ по входным величинам Δ, p_m, $v_{\text{табл, д}}$.

$\Delta = 0{,}65$

$\Delta_д$ \ p_m	4000	4180	4400
4,0	1663	1673	1686
4,17		1687	
4,5	1705	1715	1727

$\Lambda_д = 4{,}17$

3. Вычисляем значение длины пути $l_д$:

$$l_д = l_0 \Lambda_д; \quad l_д = 13{,}4 \cdot 4{,}17 = 55{,}9 \text{ дм}.$$

Пример 3. Требуется определить толщину горящего свода семиканального пороха $\left(u_1 = 68{,}6 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}}{\text{с}} : \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$ при исходных данных примера 2.

1. Из примера 2 выписываем

$$\Delta = 0{,}65 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}; \quad \varphi = 1{,}179.$$

2. Из таблицы ч. IV находим параметр B по входным величинам Δ и p_m.

$\Delta = 0{,}65$

p_m	4000	4180	4400
B	1,318	1,268	1,206

$B = 1{,}268$

3. Вычисляем значение конечного импульса давления $I_к$:

$$I_к^* = \sqrt{\frac{f\omega\varphi q}{s^2} B}; \quad I_к = \sqrt{\frac{0{,}981 \cdot 950 \cdot 10^3 \cdot 7{,}15 \cdot 1{,}179 \cdot 16{,}0 \cdot 1{,}268}{0{,}820^2 \cdot 10^{-2}}} = 15560 \cdot 10^3 \frac{\text{Нс}}{\text{м}^2}.$$

4. Определяем толщину горящего свода табличного пороха (ленточной формы):

$$(2e_1)_л = 2u_1 \cdot I_к;\ (2e_1)_л = 2 \cdot 68{,}6 \cdot 10^{-11} \cdot 15560 \cdot 10^3 = 0{,}00214 \text{ м}.$$

5. Вычисляем толщину горящего свода семиканального пороха:

$$(2e_1)_7 = 0{,}7\,(2e_1)_л;\ (2e_1)_7 = 0{,}7 \cdot 0{,}00214 =$$
$$= 0{,}00150 \text{ м} = 1{,}50 \text{ мм}.$$

Полученной величине соответствует марка пороха 15/7.

§ 3.4. ПОПРАВОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ

Поправочные формулы внутренней баллистики позволяют вычислить изменения наибольшего давления пороховых газов p_m и дульной скорости $v_д$ при изменении любого из параметров внутренней баллистики x на малую величину δx.

Первые поправочные формулы были эмпирическими и появились еще в прошлом столетии. Наиболее распространенными были поправочные формулы ИКОПЗ, составленные на основе опытного материала, полученного в 1895—1910 гг. испытательной комиссией Охтинского порохового завода (ИКОПЗ) при непосредственном участии Н. А. Забудского и Г. П. Киснемского.

В 1956 г. Главное артиллерийское управление рекомендовало к использованию в артиллерийской практике поправочные формулы внутренней баллистики, разработанные в Военно-морской академии им. А. Н. Крылова.

Поправочные формулы внутренней баллистики записываются обычно в следующем виде:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\delta p_m}{p_m} &= m_x \frac{\delta x}{x}; \\ \frac{\delta v_д}{v_д} &= l_x \frac{\delta x}{x}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.34)$$

В формулах через m_x и l_x обозначены так называемые поправочные коэффициенты внутренней баллистики, а через δp_m и $\delta v_д$ — малые изменения наибольшего давления пороховых газов p_m и дульной скорости снаряда $v_д$.

Поправочные коэффициенты численно равны изменению величин p_m и $v_д$, выраженному в процентах, при изменении параметра x на 1%.

Аналитические зависимости величин p_m и $v_д$ от параметров внутренней баллистики весьма сложны, поэтому получить поправочные коэффициенты m_x и l_x в аналитическом виде практически невозможно. Значения поправочных коэффициентов можно получить путем численного интегрирования системы уравнений внутренней баллистики или путем численного дифференцирования таблиц внутренней баллистики.

В систему уравнений внутренней баллистики входят следующие независимые между собой параметры: d, s, ω, q, W_0, $I_к$, f, α, δ, θ, $\varkappa$, λ_χ, K_φ. Кроме того, в начальные условия входит давление форсирования p_0.

Величина p_m зависит только от указанных параметров внутренней баллистики, а величина $v_д$ зависит дополнительно от полной длины пути снаряда $l_д$. Заменяя в поправочных формулах параметр x любым конкретным параметром внутренней баллистики, получим соответствующие поправочные коэффициенты, например m_ω, m_{W_0}, m_{p_0}, $l_{I_к}$, $l_{l_д}$, l_ω и поправочные формулы вида

$$\frac{\delta p_m}{p_m} = m_\omega \frac{\delta\omega}{\omega} \quad \text{или} \quad \frac{\delta v_д}{v_д} = l_\omega \frac{\delta\omega}{\omega}.$$

Для практики представляют интерес кроме рассмотренных параметров внутренней баллистики также температура заряда $t_з$ и калорийность пороха Q_w.

Температура заряда $t_з$ влияет на величины p_m и $v_д$ через характеристики пороха f и u_1 (или $I_к$). При увеличении температуры заряда будут расти сила и скорость горения пороха и уменьшится конечный импульс давления пороховых газов.

Зная поправочные коэффициенты на изменение силы пороха и конечного импульса давления, можно получить поправочные коэффициенты m_t и l_t на изменение температуры заряда, которые входят в поправочные формулы, несколько отличающиеся от формул (3.34):

$$\frac{\delta p_m}{p_m} = m_t \delta t_з; \quad \frac{\delta v_д}{v_д} = l_t \delta t_з. \tag{3.35}$$

Калорийность пороха Q_w влияет на изменение величин p_m и $v_д$ через характеристики пороха f, α и u_1 (или $I_к$), зависимости которых от Q_w приведены в гл. 2. Следовательно, можно получить поправочные коэффициенты на изменение калорийности пороха m_{Q_w} и l_{Q_w} для формул (3.34), зная поправочные коэффициенты на изменение силы пороха, коволюма пороховых газов и конечного импульса давления.

Из формул (3.34) можно найти выражения

$$m_x = \frac{\dfrac{\delta p_m}{p_m}}{\dfrac{\delta x}{x}}; \quad l_x = \frac{\dfrac{\delta v_д}{v_д}}{\dfrac{\delta x}{x}},$$

из которых следует, что поправочные коэффициенты m_x и l_x зависят от тех же параметров, что и величины p_m и $v_д$:

$$\left.\begin{aligned} m_x &= f_9(\Delta, B, f, \alpha, \delta, \theta, p_0, \varkappa); \\ l_x &= f_{10}(\Delta, B, \Lambda_д, f, \alpha, \delta, \theta, p_0, \varkappa), \end{aligned}\right\} \tag{3.36}$$

а коэффициенты m_q, l_q, m_ω, l_ω — дополнительно от отношения $\frac{\omega}{q}$.

Вместо параметра B удобно ввести величину наибольшего давления p_m, а вместо параметров f и α — калорийность пороха Q_w.

В Военно-морской академии им. А. Н. Крылова были составлены таблицы поправочных коэффициентов m_x и l_x для следующих параметров внутренней баллистики: ω, q, W_0, $I_к$, $t_з$, Q_w, f, α, p_0, $l_д$. При составлении таблиц поправочных коэффициентов параметры f, α, δ, θ, p_0, $\varkappa$ были заданы, как и при составлении таблиц внутренней баллистики ГАУ. Кроме того, было принято $\frac{\omega}{q} = 0{,}25$. В результате коэффициенты m_x стали зависеть только от плотности заряжания Δ и наибольшего давления p_m, а коэффициенты l_x — еще и от относительного полного пути снаряда $\Lambda_д$.

Таблицы поправочных коэффициентов имеют следующее устройство:

а) поправочные коэффициенты m_x

p_m \ Δ			. . . . .

б) поправочные коэффициенты l_x

$\Lambda_д$ = ...			
p_m \ Δ			. . .

В таблицах поправочных коэффициентов для артиллерийских орудий приняты следующие пределы изменения входных величин:

$$0{,}1 \leqslant \Delta \leqslant 0{,}9 \ [\text{кг/дм}^3];$$
$$400 \leqslant p_m \leqslant 5200 \ [\text{кгс/см}^2];$$
$$1{,}0 \leqslant \Lambda_д \leqslant 16{,}0.$$

Для минометов входные величины изменяются в следующих пределах:

$$0{,}02 \leqslant \Delta \leqslant 0{,}09 \ [\text{кг/дм}^3];$$
$$120 \leqslant p_m \leqslant 1500 \ [\text{кгс/см}^2];$$
$$2{,}0 \leqslant \Lambda_д \leqslant 10{,}0.$$

Шаг входных величин выбран таким образом, чтобы было возможно линейное интерполирование с требуемой точностью.

В табл. 3.1 даны табличные значения поправочных коэффициентов для следующих значений входных величин: $p_m = 4000$ кгс/см^2; $\Delta = 0{,}7$ кг/дм^3; $\Lambda_д = 5{,}0$.

Таблица 3.1

Изменяемый параметр x	ω	q	W_0	$l_к$	$t_з$	Q_w	f	α	p_0	$l_д$
m_x	3,26	1,04	—2,06	—2,24	0,0045	4,68	1,96	0,79	0,16	—
l_x	0,90	—0,3	—0,45	—0,36	0,0009	0,83	0,64	0,19	0,04	0,21

Знак величины поправочного коэффициента указывает на характер изменения величины p_m или $v_д$ при изменении параметра x; при знаке «плюс» величина p_m или $v_д$ растет, а при знаке «минус» уменьшается с увеличением параметра x, т. е. при положительной величине δx:

$$\delta x = x' - x,$$

где x' — измененная величина параметра;
x — исходная величина параметра.

В первом случае величина δp_m или $\delta v_д$ будет положительной, а во втором — отрицательной.

С помощью поправочных формул внутренней баллистики можно решить большое число задач, представляющих как практический, так и теоретический интерес. Поправочные формулы внутренней баллистики позволяют вычислить характеристики рассеивания дульной скорости и наибольшего давления, исследовать зависимость самих величин p_m и $v_д$ и характеристик их рассеивания от конструкции орудия и условий его заряжания, исследовать влияние износа канала ствола и изменения температуры заряда на величины p_m и $v_д$, решать вопрос о подборе заряда без стрельбы.

Пример 1. Требуется определить, на сколько изменятся дульная скорость $v_д$ и наибольшее давление p_m в 100-мм пушке, если масса снаряда уменьшится на 2% (три весовых знака), при следующих исходных данных: $v_д = 946{,}4$ м/с; $p_m = 4190$ кгс/см^2; $\Lambda_д = 4{,}13$; $\Delta = 0{,}65$ кг/дм^3; $\frac{\delta q}{q} = -0{,}02$.

Величины $\frac{\omega}{q}$, f, α, δ, θ, p_0, $\varkappa$ имеют значения, которые выбраны в таблицах поправочных коэффициентов.

Р е ш е н и е:

1. Находим по табл. 5 и 14 таблиц* значения поправочных коэффициентов m_q и l_q:

m_q

p_m \ Δ	0,6	0,65	0,7
4000	0,98	1,01	1,04
4190		1,017	
4400	0,98	1,025	1,07

$m_q = 1{,}017$

$(-l_q)$

$\Lambda_д$	p_m \ Δ	0,6	0,65	0,7
4,0	4000	0,34		0,27
	4190	0,345	0,313	0,280
	4400	0,35		0,29
4,13	4190		0,315	
5,0	4000	0,35		0,30
	4190	0,355	0,332	0,310
	4400	0,36		0,32

$l_q = -0{,}315$

2. Определяем относительные изменения дульной скорости и наибольшего давления:

$$\frac{\delta v_д}{v_д} = l_q \frac{\delta q}{q};\ \frac{\delta v_д}{v_д} = -0{,}315\,(-0{,}02) = 0{,}0063;$$

$$\frac{\delta p_m}{p_m} = m_q \frac{\delta q}{q};\ \frac{\delta p_m}{p_m} = 1{,}017\,(-0{,}02) = -0{,}0203.$$

3. Определяем изменения дульной скорости и наибольшего давления:

$$\delta v_д = v_д \left(\frac{\delta v_д}{v_д}\right);\ \delta v_д = 946{,}4 \cdot 0{,}0063 = 5{,}90 \text{ м/с};$$

$$\delta p_m = p_m \left(\frac{\delta p_m}{p_m}\right);\ \delta p_m = 4190\,(-0{,}0203) = -85 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = -83 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

---

* Ермолаев С. И., Комаров Л. Б., Чурбанов Е. В. Поправочные формулы внутренней баллистики. М., Воениздат, 1956.

Пример 2. Требуется определить относительное изменение табличных дульной скорости и наибольшего давления, если температура заряда стала равной —40° С вместо табличной величины +15° С, при следующих исходных данных:

$p_m = 4000$ кгс/см²; $\Lambda_д = 5{,}0$; $\Delta = 0{,}7$ кг/дм³; $\delta t_з = -55°$ С.

Решение:

1. Находим из табл. 3.1 значения поправочных коэффициентов l_t и m_t: $l_t = 0{,}0009$; $m_t = 0{,}0045$.

2. Определяем относительные изменения дульной скорости и наибольшего давления:

$$\frac{\delta v_д}{v_д} = l_t \cdot \delta t_з; \quad \frac{\delta v_д}{v_д} = 0{,}0009\,(-55) = 0{,}0495 = 4{,}95\%;$$

$$\frac{\delta p_m}{p_m} = m_t \cdot \delta t_з; \quad \frac{\delta p_m}{p_m} = 0{,}0045\,(-55) = 0{,}248 = 24{,}8\%.$$

Как видим, изменение температуры заряда очень сильно может изменить дульную скорость снаряда и наибольшее давление пороховых газов.

РАЗДЕЛ II

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКЦИЯ БОЕПРИПАСОВ

ГЛАВА 4

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БОЕПРИПАСАХ

§ 4.1. НАЗНАЧЕНИЕ БОЕПРИПАСОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Боеприпасами называют предметы вооружения, предназначенные для поражения живой силы, боевой техники и оборонительных сооружений противника. Под поражением понимают уничтожение, разрушение, ослепление или другое воздействие на противника, приводящее к полному или частичному (временному) прекращению им боевых действий.

Первой особенностью боеприпасов является применение в них взрывчатых веществ, что делает их взрывоопасными.

Для того чтобы поражение противника (цели) стало возможным, должны быть выполнены два основных условия:

1. Расстояние между целью и боеприпасами, предназначенными для ее поражения, не должно превосходить заданной и достаточно малой величины.

2. Действие боеприпасов должно происходить в заданный момент времени.

В артиллерии поражение противнику наносят с помощью снарядов, метание которых к цели осуществляют с помощью боевых зарядов. Действие снарядов и боевых зарядов обеспечивается соответственно с помощью взрывателей и средств воспламенения.

Артиллерийскими боеприпасами будем называть предметы вооружения, предназначенные для производства выстрела из орудия и поражения цели. Артиллерийские боеприпасы состоят из артиллерийских снарядов, мин, реактивных снарядов, боевых зарядов, взрывателей, трубок и средств воспламенения. Боеприпасы являются наиболее массовыми предметами вооружения, и в этом состоит вторая важная их особенность. Громадные расходы боеприпасов при ведении боевых действий требуют организации массового производства боеприпасов, накопления необходимых запасов боеприпасов в мирное время, обеспечения четкого снаб-

жения войск боеприпасами. Все это тяжелым бременем ложится на экономику военного времени любой страны.

Развитие экономики и промышленного потенциала передовых стран приводит к росту расхода боеприпасов в войнах. Так, Россия израсходовала в 1904—1905 гг. около 1 млн. выстрелов, а в 1914—1918 гг. — уже около 50 млн. выстрелов. Во вторую мировую войну расходы боеприпасов возросли. Советский Союз, вынесший основную тяжесть борьбы с фашистской Германией и ее сателлитами, должен был в небывалых масштабах развернуть производство боеприпасов. В одном только 1944 г. было произведено свыше 240 млн. снарядов, бомб и мин и 7 млрд. 400 млн. патронов.

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к боеприпасам, разбив их на три группы: боевые, эксплуатационные и производственно-экономические.

Боевые требования являются основными требованиями. Они включают требования могущества, дальнобойности, кучности, скорострельности, маневренности и живучести.

Могущество боеприпасов характеризуется эффективностью действия снаряда по цели. Оно существенно зависит от калибра снаряда.

В табл. 4.1 даны размеры воронки гаубичных снарядов разных калибров по грунту средней твердости.

Таблица 4.1

Калибр, мм	Индекс снаряда	Размеры воронки, м	
		диаметр	глубина
122	ОФ-462	3,0—4,0	0,5—0,8
152	ОФ-530	4,0—5,0	1,5—1,8
203	Ф-620	5,0—7,0	2,0—3,5

Как видим, с увеличением калибра снаряда могущество действия по цели возрастает. При неизменном калибре могущество зависит от массы снаряда и снаряжения, от типа и мощности снаряжения, от конструкции и формы снаряда, от массы боевого заряда и сорта пороха, от действия взрывателя.

Для повышения дальнобойности нужно увеличивать величину начальной скорости снаряда и уменьшать силу сопротивления воздуха. За счет боеприпасов начальная скорость может быть увеличена путем применения более мощных порохов, увеличения массы боевого заряда и уменьшения массы снаряда. Уменьшения силы сопротивления воздуха можно достичь за счет придания снаряду более совершенной (удобообтекаемой) формы, а также за счет увеличения так называемой поперечной нагрузки снаряда, т. е. массы, приходящейся на единицу площади поперечного сечения снаряда. Переход от недальнобойной к дальнобойной

форме снаряда приводит к увеличению наибольшей дальности на 15—25%.

При прочих равных условиях уменьшение площади поперечного сечения снаряда среднего калибра в два раза приводит к увеличению наибольшей дальности полета снаряда на 40—60%. С ростом калибра орудия поперечная нагрузка снаряда увеличивается, что автоматически приводит к повышению дальнобойности.

Кучность связана с рассеиванием угла бросания, начальной скорости, силы сопротивления воздуха, а при дистанционной стрельбе и времени дистанционного действия взрывателя. В таблицах стрельбы даны наименьшие для данного уровня развития артиллерии характеристики рассеивания — табличные срединные отклонения, зависящие только от технических факторов.

Технические факторы включают, с одной стороны, конструктивные и баллистические характеристики орудия, а с другой — конструктивные характеристики боеприпасов и степень разнообразия их при производстве.

Несоблюдение в войсках правил эксплуатации боеприпасов, небрежное выполнение своих обязанностей номерами расчетов приводят к резкому понижению кучности стрельбы.

Скорострельность зависит в основном от конструкции орудия, степени механизации и автоматизации процессов при стрельбе. Важную роль при этом играет процесс заряжания орудия, который в определенной степени зависит от конструкции боеприпасов. Массовые, габаритные и конструктивные характеристики снаряда и боевого заряда должны обеспечивать малое время заряжания орудия и удобство выполнения всех процессов, связанных с подготовкой и проведением стрельбы.

Маневренность, т. е. время свертывания и развертывания артиллерийских подразделений, скорость их передвижения, время подготовки данных стрельбы, время доставки требуемых боеприпасов зависят от веса и габаритов боеприпасов и их укупорки, от степени их готовности к применению в войсках, от степени безопасности боеприпасов при эксплуатации, от разнообразия и универсальности боеприпасов и других факторов, связанных с устройством и эксплуатацией боеприпасов.

Живучесть артиллерийских подразделений зависит от живучести боеприпасов, т. е. стойкости к внешним воздействиям снаряжения снаряда, взрывателя и боевого заряда и степени безопасности обращения с боеприпасами.

Эксплуатационные требования непосредственно связаны с вопросами эксплуатации вооружения, однако они сами в большой степени зависят от боевых требований. Основными эксплуатационными требованиями являются требования безопасности в обращении, надежности действия и стойкости при хранении.

Безопасность в обращении характеризует свойство боеприпасов правильно функционировать во всех условиях, предусмотренных боевыми и техническими документами.

При точном соблюдении установленных правил обращения

боеприпасы вполне безопасны. Для организации правильной эксплуатации боеприпасов необходимо иметь четкие знания о их устройстве и действии.

Безопасность в обращении можно определить, например, абсолютным или относительным числом преждевременных разрывов снарядов при стрельбе. В русской артиллерии в период с 1914 по 1917 г. произошло 300 преждевременных разрывов в стволе 76-мм гранат и 150 преждевременных разрывов в стволе 107-мм, 122-мм и 152-мм гранат и бомб. В Великую Отечественную войну относительное число преждевременных разрывов снарядов сократилось более чем в три раза.

Надежность действия для боеприпасов, являющихся изделиями одноразового применения, определяется абсолютным или относительным числом отказов при массовом их применении. Отказы в действии снарядов могут быть вследствие невзведения взрывателя при выстреле, а отказы в действии боевого заряда — вследствие неисправности воспламенителя или средства воспламенения.

Стойкость при хранении определяется периодом времени (количеством лет), в течение которого боеприпасы сохраняют свои боевые качества. Известно, что все материалы подвергаются старению, т. е. изменениям их физико-химических, механических, баллистических и других свойств во времени. Среди материалов в большей мере изменяются при хранении синтетические материалы, например резина и другие полимерные материалы.

Вопрос о стойкости боеприпасов при хранении имеет особое значение в мирное время, когда накапливаются запасы вооружения. Боеприпасы могут храниться на складах многие годы и даже десятилетия. Их боевые и эксплуатационные качества при этом не должны заметно изменяться. В военное время боеприпасы расходуются сразу после их изготовления. Поэтому к материалам и технологии предъявляются более низкие требования, в частности, технология упрощается, а ряд материалов заменяется более доступными и дешевыми.

Производственно-экономические требования определяют в значительной мере экономические затраты на производство боеприпасов и, следовательно, военный потенциал государства. К ним относятся требования простоты конструкции, технологичности, стандартизации.

§ 4.2. ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА ВЫСТРЕЛОВ

Один комплект боеприпасов, необходимых для стрельбы и собранных в определенном порядке, называется выстрелом. В данном случае под выстрелом понимается изделие в отличие от выстрела как явления или акта стрельбы.

По типу орудия, в котором применяются выстрелы, различают артиллерийские, минометные и реактивные выстрелы. Отметим, что понятие реактивного выстрела совпадает с понятием реактив-

ного снаряда со всеми его комплектующими элементами (тормозными кольцами, сменными соплами и т. п.). Любой выстрел можно разделить на две основные части: снаряд и боевой заряд.

В состав снаряда входят оболочка (корпус, ввинтное дно, привинтная головка и т. п.), снаряжение, взрыватель и дополнительные элементы. К дополнительным элементам относятся трассер, ведущий поясок, стабилизатор и т. д.

В состав боевого заряда включают оболочку (картуз, гильзу, корпус реактивного двигателя), пороховой заряд, средство воспламенения и дополнительные (вспомогательные) элементы. Иногда гильзу и средство воспламенения не включают в боевой заряд. Дополнительными элементами являются воспламенитель, размедни тель, пламегаситель, флегматизатор, обтюрирующее устройство (нормальная и усиленная крышки) и фиксирующее устройство (кружки, цилиндрики, решетки, диафрагмы и т. п.).

У реактивного снаряда боевым зарядом можно считать реактивный двигатель.

По назначению выстрелы делятся на боевые, практические, холостые и учебные.

Боевые выстрелы предназначаются для боевых стрельб. Они должны состоять из элементов, пригодных для стрельбы, и полностью удовлетворять предъявляемым к ним боевым требованиям.

Практические выстрелы применяются для практических стрельб в войсках и на полигонах. Практические выстрелы снабжаются практическими снарядами, имеющими специальное снаряжение (инертное, уменьшенное и т. п.). В войсках в качестве практических могут использоваться боевые выстрелы при некоторых отступлениях от предъявляемых к ним боевых требований и при уменьшенных боевых зарядах для уменьшения износа орудий.

Холостые выстрелы предназначаются для имитации боевой стрельбы на учениях и для салютов. Холостые выстрелы не имеют снаряда и представляют собой специальный боевой заряд в гильзе, которая сверху или обжимается, или забивается несколькими пыжами.

Учебные выстрелы предназначены для обучения личного состава приемам обращения с боеприпасами и приемам стрельбы. Учебные выстрелы собираются или из специально изготовленных макетов боеприпасов, или из холостых боеприпасов.

По способу заряжания орудия выстрелы делятся на выстрелы унитарного заряжания, раздельного гильзового заряжания и раздельного картузного заряжания.

Выстрел унитарного заряжания (рис. 4.1) состоит из одного предмета, а заряжание орудия производится в один прием. Снаряд и боевой заряд в этом случае соединяются между собой. У артиллерийских выстрелов при унитарном заряжании боевой заряд размещается в гильзе и соединяется со снарядом

жестко и герметично, образуя патрон. Запоясковая часть снаряда обычно с натягом вставляется в дульце гильзы, которая закатывается в кольцевые канавки на снаряде. Осевое усилие, необходимое для разделения снаряда и гильзы и называемое усилием

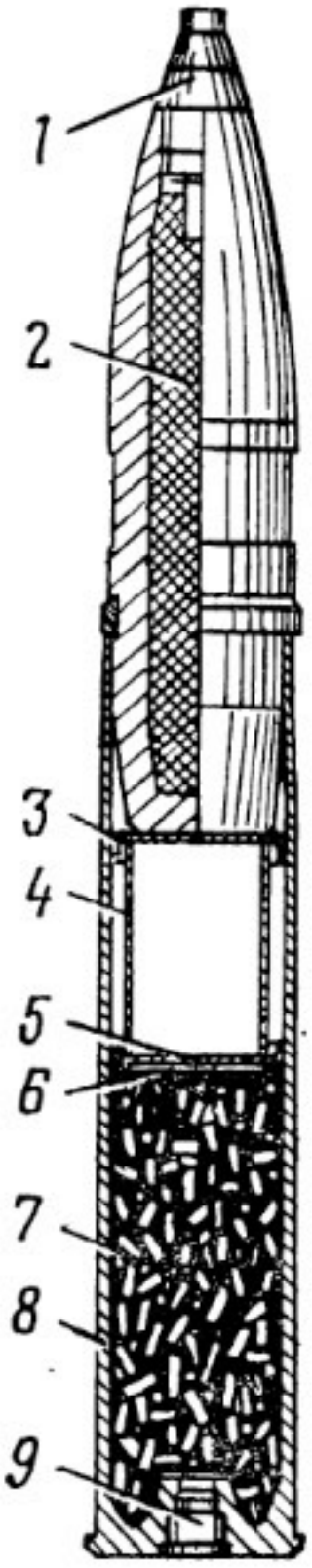


Рис. 4.1. Выстрел патронного заряжания:

1 — взрыватель; *2* — снаряд; *3* — обтюратор; *4* — цилиндрик; *5* — кружок; *6* — размеднитель; *7* — пороховой заряд; *8* — гильза; *9* — капсюльная втулка

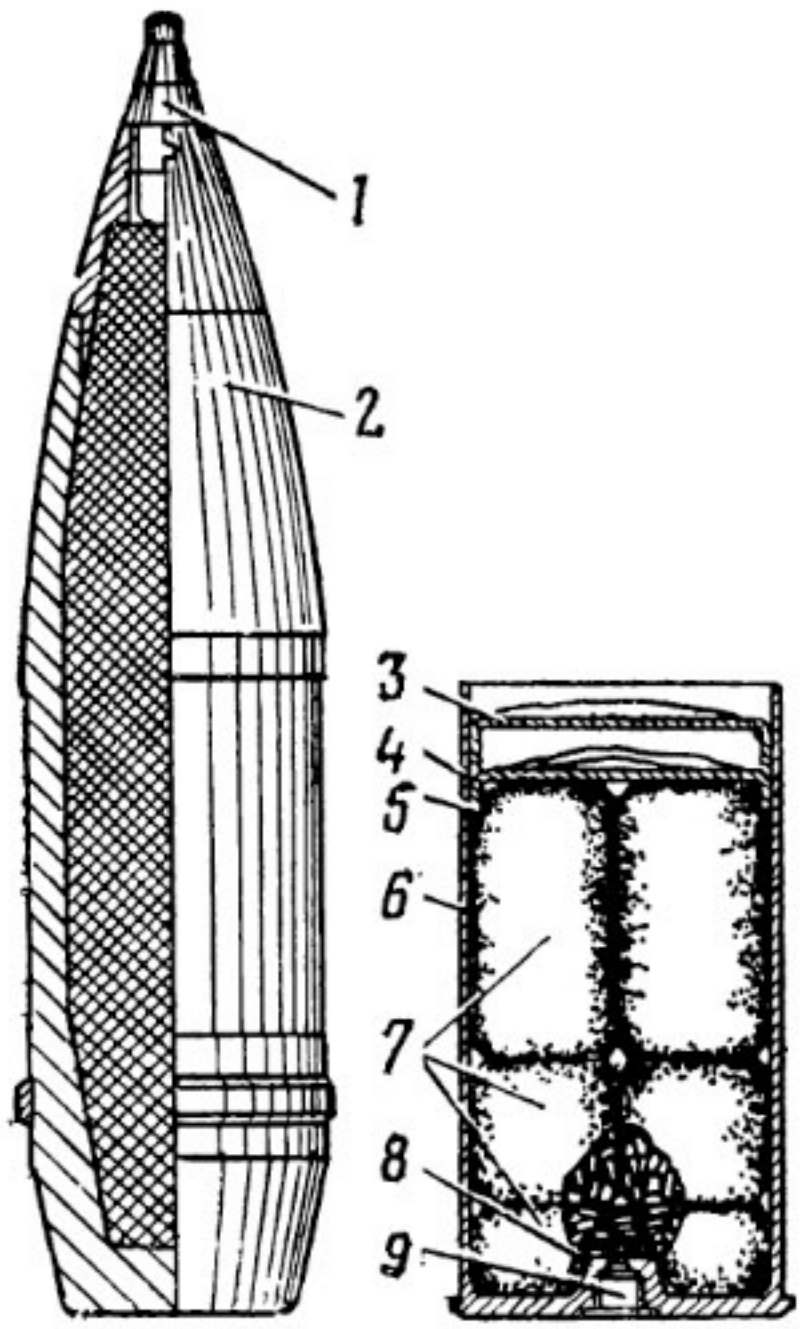


Рис. 4.2. Выстрел раздельного гильзового заряжания:

1 — взрыватель; *2* — снаряд; *3* — усиленная крышка; *4* — размеднитель; *5* — нормальная крышка; *6* — гильза; *7* — пороховой заряд; *8* — воспламенитель; *9* — капсюльная втулка

распатронирования, может достигать нескольких тонн. Такие выстрелы называются выстрелами патронного заряжания.

Применение выстрелов патронного заряжания обеспечивает высокую скорострельность орудий, хорошую герметичность боевых зарядов и исключает возможность доставки на огневую позицию некомплектных боеприпасов и заряжания ими орудия. Недостатком выстрелов патронного заряжания является невозможность иметь переменный боевой заряд. Кроме того, с увеличением ка-

либра орудия длина и вес патрона возрастают, что затрудняет их применение. Поэтому выстрелы патронного заряжания применяются в зенитных, танковых и противотанковых орудиях, а также в орудиях полевой артиллерии, калибр которых не превосходит 100 мм.

Выстрелы раздельного гильзового заряжания (рис. 4.2) состоят из двух предметов: снаряда и боевого заряда в гильзе. Заряжание орудия в этом случае производится в два приема: сначала прибойником досылается снаряд, а затем рукой досылается боевой заряд. Боевой заряд у выстрелов раздельного гильзового заряжания обычно делается переменным. Для герметизации боевых зарядов при хранении в гильзу кроме нормальной (обтюрирующей) крышки вставляется усиленная крышка, которая сверху заливается герметизирующим составом.

Применение выстрелов раздельного гильзового заряжания позволяет вести стрельбу с одной огневой позиции по разнообразным целям при наивыгоднейших условиях встречи снаряда с целью, т. е. с наибольшей эффективностью и при умеренном износе канала ствола, при этом в предельной мере экономится порох. Применение гильзы обеспечивает удовлетворительную герметичность боевого заряда при хранении и возможность применять в орудиях клиновой затвор, достигая за этот счет хорошей скорострельности, несмотря на то что заряжание орудия производится в два приема.

Недостаток выстрелов раздельного гильзового заряжания состоит в возможности некомплектной подачи выстрелов на огневую позицию. Наличие гильзы в выстреле приводит к удорожанию выстрела и к необходимости применять дефицитные материалы.

Выстрелы раздельного гильзового заряжания применяются в орудиях полевой артиллерии калибром от 76 до 152 мм включительно.

Выстрелы раздельного картузного заряжания (рис. 4.3) состоят из трех предметов: снаряда, боевого заряда в картузе и средства воспламенения — ударной трубки. Заряжание орудия производится в три приема: сначала досылается снаряд, вслед за ним досылается боевой заряд, а после закрывания затвора в камору последнего вкладывается средство воспламенения.

Отсутствие гильзы делает выстрелы картузного заряжания более простыми и дешевыми, однако требует принятия специальных мер для герметизации зарядов при хранении, для обтюрации пороховых газов при выстреле и для придания боевому заряду определенной формы и прочности. Картузы основного пакета и дополнительных пучков заряда изготовляются из прочной шелковой (амиантиновой) ткани и соединяются между собой с помощью тесьмы. При хранении боевые заряды помещают в матерчатые чехлы и укладывают в герметическую укупорку — ящик из оцинкованного железа. Обтюрация пороховых газов при выстреле обеспечивается с помощью поршневого затвора орудия. Основным

недостатком применения выстрелов раздельного картузного заряжания является низкая скорострельность орудий.

В настоящее время в полевой артиллерии выстрелы раздельного картузного заряжания применяются исключительно в орудиях крупного калибра.

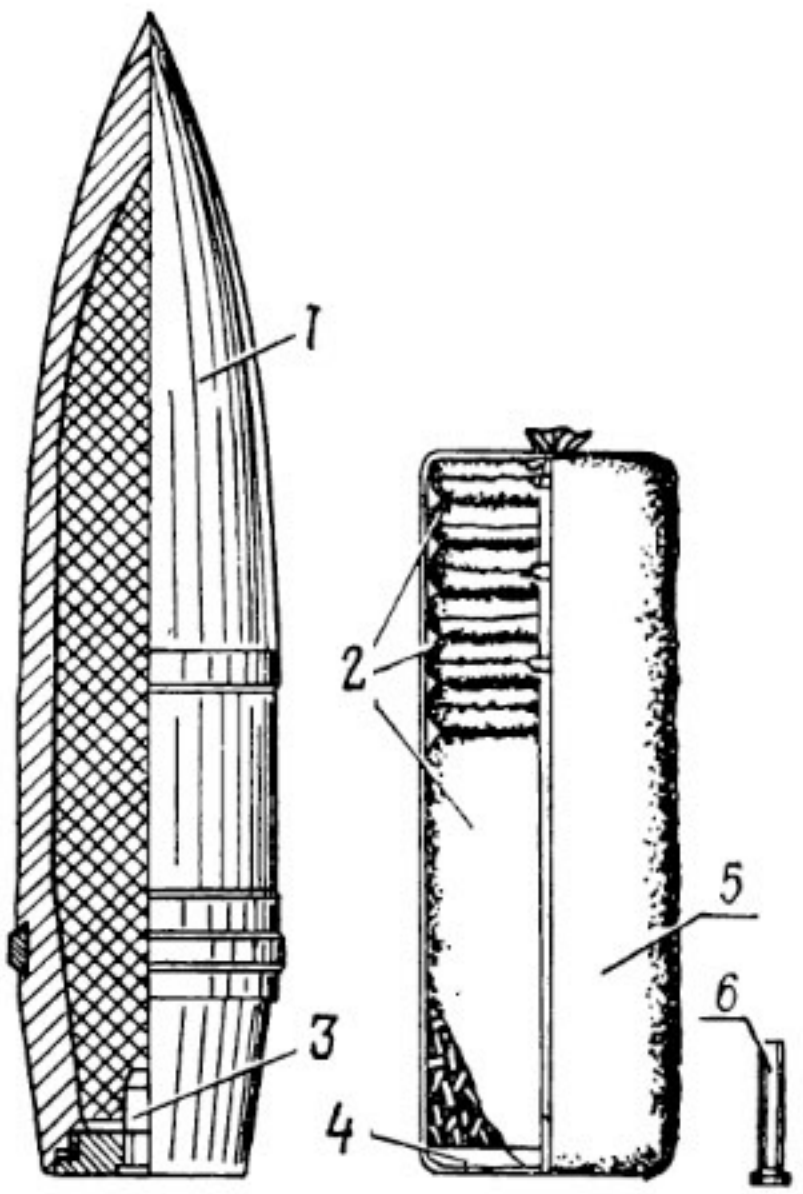


Рис. 4.3. Выстрел раздельного картузного заряжания:
1 — снаряд; *2* — пороховой заряд; *3* — взрыватель; *4* — воспламенитель; *5* — чехол боевого заряда; *6* — ударная трубка

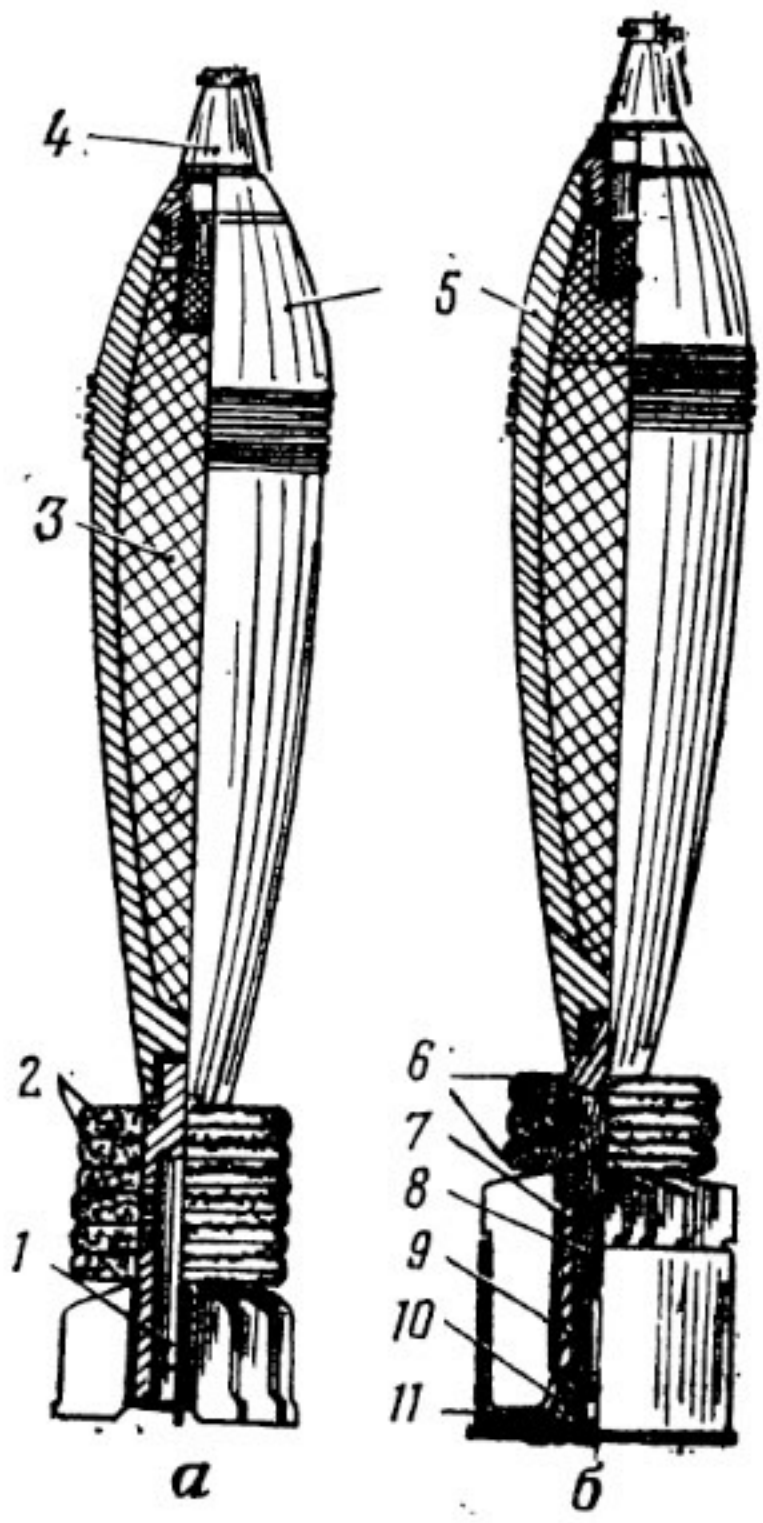


Рис. 4.4. Минометные выстрелы:
а — для миномета, заряжаемого с дула; *б* — для миномета, заряжаемого с казенной части; *1*, *8* — воспламенительные заряды; *2*, *6* — дополнительные пучки; *3* — разрывной заряд; *4* — взрыватель; *5* — корпус; *7* — футляр; *9* — направляющая втулка; *10* — капсюльная втулка; *11* — гильза

Минометные выстрелы (рис. 4.4) можно отнести к выстрелам унитарного картузного заряжания, поскольку они представляют собой один предмет и заряжание миномета обычно производится в один прием. Основная часть боевого заряда — дополнительные пучки — размещается в картузах на трубке стабилизатора мины. В состав боевого заряда кроме дополнительных пучков входит воспламенительный заряд в картонной гильзе с поддоном, в кото-

ром размещается средство воспламенения — капсюль-воспламенитель или капсюльная втулка. Воспламенительный заряд вставляется в трубку стабилизатора мины.

Поскольку дополнительные пучки боевого заряда размещаются в картузах, то для обеспечения герметичности они хранятся и доставляются на огневую позицию в укупорке (в специальной бумажной обертке).

Реактивные выстрелы являются выстрелами унитарного заряжания.

В войсках должны находиться готовые выстрелы, т. е. выстрелы, имеющие полный комплект готовых к применению боеприпасов. Готовые выстрелы могут быть окончательно снаряженными и неокончательно снаряженными.

Окончательно снаряженные выстрелы не требуют проведения в войсках каких-либо сборочных работ. Неокончательно снаряженные выстрелы требуют приведения их в окончательно снаряженный вид, т. е. выполнения ряда сборочных работ в войсках. К таким работам относятся ввинчивание в снаряд головных взрывателей, запрессовывание в трубку стабилизатора мины воспламенительного заряда и т. п.

§ 4.3. КОМПЛЕКТАЦИЯ ВЫСТРЕЛОВ

Артиллерийские боеприпасы используются для стрельбы из орудий в определенном сочетании — в виде выстрела, а хранятся в войсках и доставляются на огневые позиции в определенном количестве — в виде боевых комплектов, или боекомплектов.

Боевым комплектом называется комплект выстрелов, предназначенных для данного образца орудия, определенный по составу и количеству специальным приказом.

Деление боеприпасов на выстрелы и боевые комплекты называется комплектацией.

Основными отличительными признаками, с помощью которых можно определить и, следовательно, различить выстрелы, являются калибр орудия (снаряда), тип орудия, способ заряжания орудия, тип и особенности устройства боевого заряда. В полном наименовании выстрела все отличительные признаки должны перечисляться, например 122-мм артиллерийский выстрел раздельного гильзового заряжания с осколочно-фугасной гаубичной гранатой с железо-керамическим ведущим пояском и взрывателями РГМ-2 и Д-1У с полным боевым зарядом без размедлителя или 240-мм минометный выстрел со стальной фугасной миной, с взрывателем ГВМЗ-7, с дальнобойным боевым зарядом.

Как видно из примеров, различие взрывателей у снарядов и марок пороха у боевых зарядов не считается отличительным признаком для выстрела.

Боекомплект для данного образца орудия включает выстрелы одного калибра, но различных наименований. При наименовании

боекомплекта указываются калибр и образец орудия, например боекомплект к 122-мм гаубице 1938 г. или боекомплект к 240-мм миномету М-240. Понятие боекомплекта используется в основном при оперативном учете боеприпасов в войсках и при планировании и обеспечении боевых действий войск. Количество выстрелов, составляющих боекомплект, назначается с учетом возможности решения с помощью одного боекомплекта определенных огневых задач и возможности перевозки одного боекомплекта транспортными средствами артиллерийских подразделений.

Полное наименование выстрела является сложным и длинным — неудобным для запоминания и практического применения. Поэтому применяют условное наименование выстрела или отдельного его элемента — индекс образца.

Полный индекс состоит из четырех частей, следующих одна за другой слева направо через черточку или слитно: одной или двух цифр; одной или нескольких букв; одной, двух или трех цифр; одной или нескольких букв с цифрами. В табл. 4.2 дано несколько полных индексов образцов боеприпасов.

Таблица 4.2

Полный индекс	Составные части			
	I	II	III	IV
53-ОФ-462Ж	53	ОФ	462	Ж
3ОФ15М	3	ОФ	15	М
54-Ж-463М	54	Ж	463	М
4УОФ3	4	УОФ	3	—
53-ВОФ-463Ж	53	ВОФ	463	Ж
3УОФ3	3	УОФ	3	—

Первая часть индекса означает отдел вооружения, к которому относится образец. Все артиллерийские боеприпасы распределяются между 53-м (или 3-м) и 54-м (или 4-м) отделами вооружения. К 53-му отделу вооружения относятся выстрелы всех типов, снаряды, взрыватели, трубки и их укупорка. К 54-му отделу вооружения относятся боевые заряды, их элементы, средства воспламенения и их укупорка.

Если в полном индексе опустить первую часть, то получим сокращенный индекс, который часто с добавлением слова снаряд, заряд и т. п. применяется вместо полного индекса, например заряд Ж-463М или снаряд ОФ-462.

Вторая часть индекса означает тип образца в данном отделе вооружения. В большинстве случаев для этого употребляются начальные буквы названия боеприпасов.

Третья часть индекса означает условный номер изделия данного типа (трехзначное число) или порядковый номер учета изделия данного типа (одно- или двузначное число). Условный номер образцов боеприпасов обычно совпадает с условным номе-

ром образца орудия, в котором они применяются, например 122-мм гаубице обр. 1938 г. присвоен условный номер 463, 240-мм миномету М-240 — номер 864, боевой машине БМ-13 — номер 942.

Четвертая часть индекса указывает на разновидность изделия или на изменение в изделии данной категории.

§ 4.4. ОКРАСКА И МАРКИРОВКА БОЕПРИПАСОВ

Для обеспечения удобства и надежности эксплуатации боеприпасов от момента их изготовления до момента боевого применения и для обеспечения возможности получить необходимую характеристику боевых и технических свойств боеприпасов без сопровождающих их документов все боеприпасы при изготовлении подвергаются клеймению, окраске и маркировке.

Клеймение заключается в выдавливании, выбивании или вытравливании на металлических и пластмассовых частях боеприпасов условных знаков, называемых клеймами и состоящих из букв, цифр, геометрических фигур и их сочетаний. На боеприпасах, имеющих небольшие размеры, например снарядах малого калибра, взрывателях, капсюльных втулках и на гильзах, клейма могут быть основными отличительными знаками.

Окраска боеприпасов делится на предохранительную и отличительную. Предохранительная окраска наносится в мирное время серо-дикого цвета на снаряды калибром 57 мм и более и зеленого цвета на деревянную укупорку боеприпасов. Предохранительная окраска может наноситься на центрующие утолщения и ведущие пояски. Отличительная окраска наносится в виде полос определенного цвета на снаряды, взрыватели, гильзы, средства воспламенения и укупорку.

Маркировка заключается в нанесении краской или лаком условных знаков и надписей на снаряды, боевые заряды (картузы и гильзы) и укупорку. Маркировка выполняется стандартным чертежным шрифтом сплошной линией черного цвета, а по черной окраске — белого цвета.

Маркировка содержит все основные служебные данные, необходимые для правильной эксплуатации боеприпасов в войсках. Поэтому сохранению маркировки в войсках должно уделяться особое внимание.

На рис. 4.5 дано содержание и расположение маркировки на снарядах. На снарядах малого калибра весовые знаки в маркировке не указываются. На бронебойных снарядах под шифром снаряжения указывается марка взрывателя. На сплошных снарядах вместо данных о снаряжении указаны завод-изготовитель, номер партии и год изготовления снаряда.

На рис. 4.6 дано содержание и расположение маркировки на боевых зарядах в гильзах. Если к данному образцу орудия предназначается несколько боевых зарядов или переменный боевой заряд, на каждом боевом заряде и на отдельных пакетах (пучках) наносят соответствующие надписи: «Полный», «Уменьшен-

ный переменный», «Специальный», «Заряд № 4», «Основной пакет», «Верхний пучок» и т. д. На гильзах раздельного заряжания

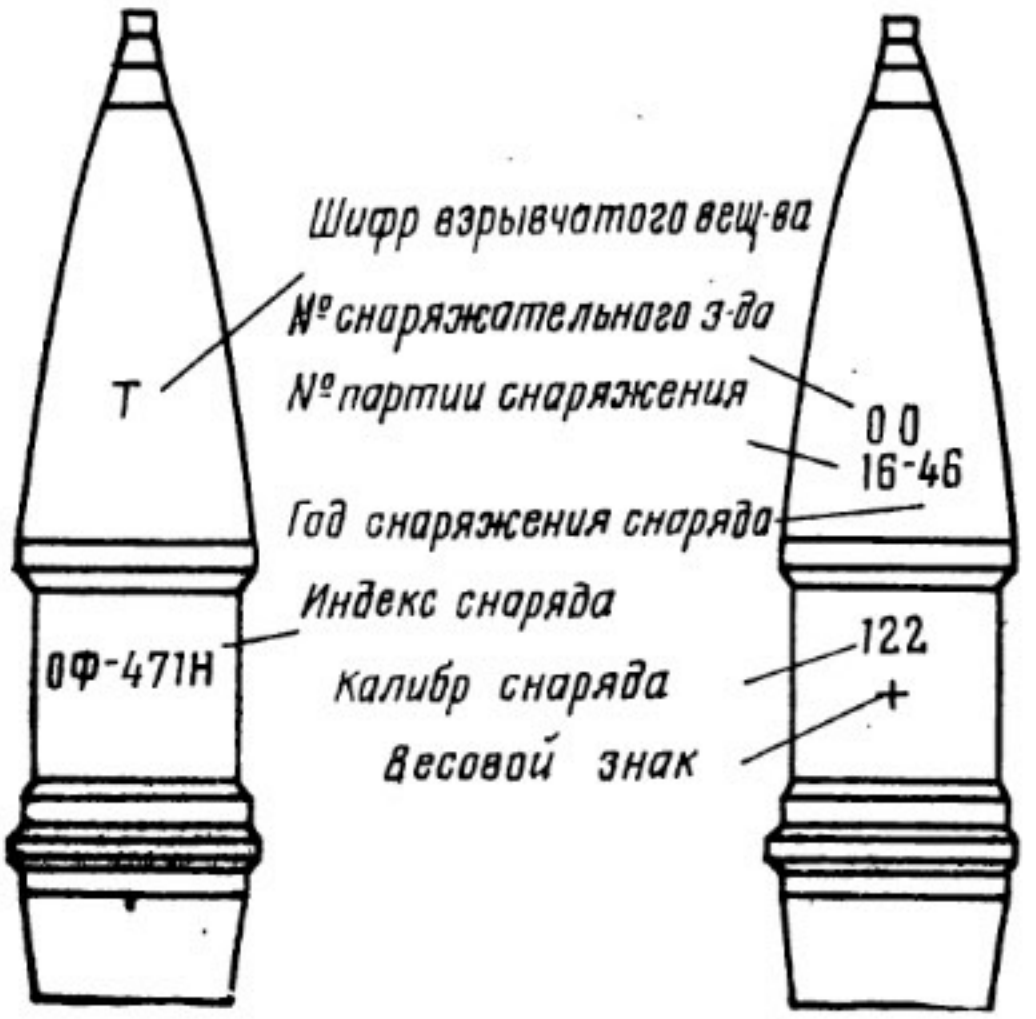


Рис. 4.5. Маркировка на снарядах

ставят индекс боевого заряда, а на гильзах унитарных патронов — индекс выстрела. Под капсюльной втулкой в гильзе нахо-

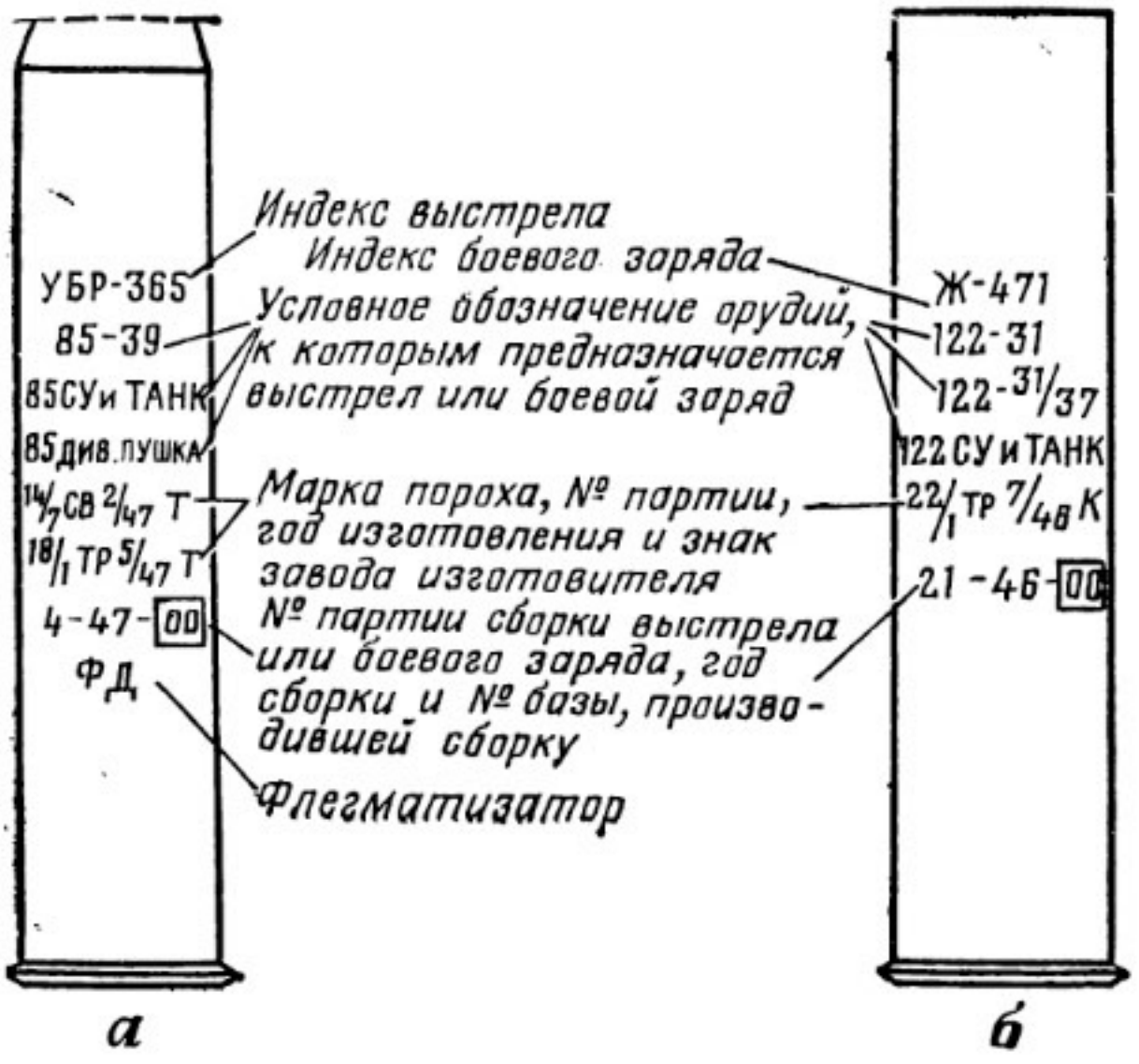


Рис. 4.6. Маркировка на боевых зарядах в гильзах:

а — выстрел унитарного заряжания; *б* — выстрел раздельного гильзового заряжания

дится бумажный кружок, дублирующий маркировку боевого заряда. На гильзы воспламенительных зарядов и на картузы допол-

нительных зарядов минометов маркировка не наносится. Она заменяется этикетками с аналогичными надписями, которые наклеиваются на верхний пыж воспламенительного заряда и на бумажную обертку дополнительных зарядов.

На корпусе реактивного снаряда наносятся дополнительные данные о боевом заряде: тип средства воспламенения, индекс воспламенителя и баллистический индекс (рис. 4.7).

Рис. 4.7. Маркировка на реактивном снаряде

На укупорочных ящиках с выстрелами, снарядами и боевыми зарядами на боковой и торцевой стенках наносят маркировку, характеризующую содержимое. Кроме обычных сведений указываются количество штук и масса брутто. Отсутствие данных о взрывателе означает, что выстрелы или снаряды не приведены в окончательно снаряженный вид.

ГЛАВА 5

СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ БОЕПРИПАСОВ

На элементы боеприпасов при хранении и транспортировке, при выстреле, в полете и при встрече с целью действуют силы, знать которые необходимо для правильной организации эксплуатации боеприпасов в войсках и для понимания действия, а следовательно, и правильного использования боевых возможностей боеприпасов.

§ 5.1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

При выстреле в результате горения порохового заряда в заснарядном пространстве орудия образуются пороховые газы. Со стороны пороховых газов на элементы снаряда и боевого заряда будут действовать силы давления.

Сила давления, приложенная к снаряду, будет движущей силой, сообщающей снаряду поступательное движение. Сила давления, приложенная к гильзе, будет деформировать ее, прижимая к поверхности каморы, обеспечивая обтюрацию пороховых газов.

При движении снаряда со стороны ствола на него будут действовать силы реакции, рассмотренные в разделе I. Касательная составляющая нормальной реакции боевой грани нарезов будет сообщать снаряду вращательное движение.

Как поступательное, так и вращательное движение снаряда является ускоренным. Следовательно, любая часть снаряда (например, деталь взрывателя) будет иметь линейное ускорение j_S поступательного движения, касательное ускорение $j_к$ и центростремительное ускорение j_c вращательного движения.

Используя из внутренней баллистики приближенное уравнение поступательного движения снаряда (2.22)

$$q \frac{dv}{dt} = sp_{сн}, \tag{5.1}$$

найдем выражение для ускорения поступательного движения:

$$j_S = \frac{dv}{dt} = \frac{s}{q} p_{сн}. \tag{5.2}$$

Из теоретической механики известно, что

$$j_к = r_{дет}\frac{d\omega_{сн}}{dt}; \quad j_с = r_{дет}\omega_{сн}^2, \tag{5.3}$$

где $r_{дет}$ — расстояние центра масс детали от оси вращения снаряда;

$\omega_{сн}$ — угловая скорость снаряда.

Во внутренней баллистике получают следующее выражение для угловой скорости:

$$\omega_{сн} = \frac{2\pi}{\eta d} v, \tag{5.4}$$

где η — длина хода нареза.

Дифференцирование равенства (5.4) по времени дает

$$\frac{d\omega_{сн}}{dt} = \frac{2\pi}{\eta d} \cdot \frac{dv}{dt}$$

или с учетом равенства (5.2)

$$\frac{d\omega_{сн}}{dt} = \frac{2\pi}{\eta d} \cdot \frac{s}{q} p_{сн}. \tag{5.5}$$

В результате найдем выражения для касательного и центростремительного ускорений:

$$j_к = \frac{1}{q} \cdot \frac{2\pi}{\eta d} r_{дет} s p_{сн}; \tag{5.6}$$

$$j_с = \left(\frac{2\pi}{\eta d}\right)^2 r_{дет} v^2. \tag{5.7}$$

При ускоренном движении тела на него будет действовать объемная сила — сила инерции, численно равная произведению массы на ускорение и направленная в сторону, противоположную ускорению.

Таким образом, на любую частицу снаряда, массу которой обозначим через $q_{дет}$, будут действовать три силы инерции в соответствии с тремя рассмотренными выше ускорениями: сила инерции от линейного ускорения S, сила инерции от касательного ускорения K и сила инерции от центростремительного ускорения или центробежная сила C. Выражения для этих сил найдем, используя выражения (5.2), (5.6) и (5.7) для ускорений:

$$S = \frac{q_{дет}}{q} s p_{сн}; \tag{5.8}$$

$$K = \frac{q_{дет}}{q} r_{дет} \frac{2\pi}{\eta d} s p_{сн}; \tag{5.9}$$

$$C = q_{дет} r_{дет} \left(\frac{2\pi}{\eta d}\right)^2 v^2. \tag{5.10}$$

На рис. 5.1 показаны направления действия сил инерции при выстреле. Как следует из формул, все силы инерции растут пропорционально массе детали. Поскольку вес снаряда увеличивается пропорционально кубу калибра, а площадь сечения канала ствола — пропорционально квадрату калибра с увеличением калибра орудия, все силы инерции убывают с ростом калибра.

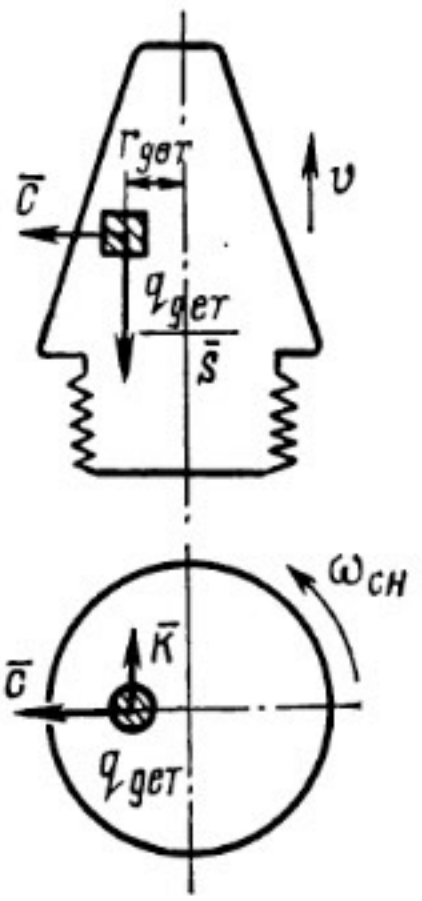


Рис. 5.1. Схема действия сил инерции при выстреле

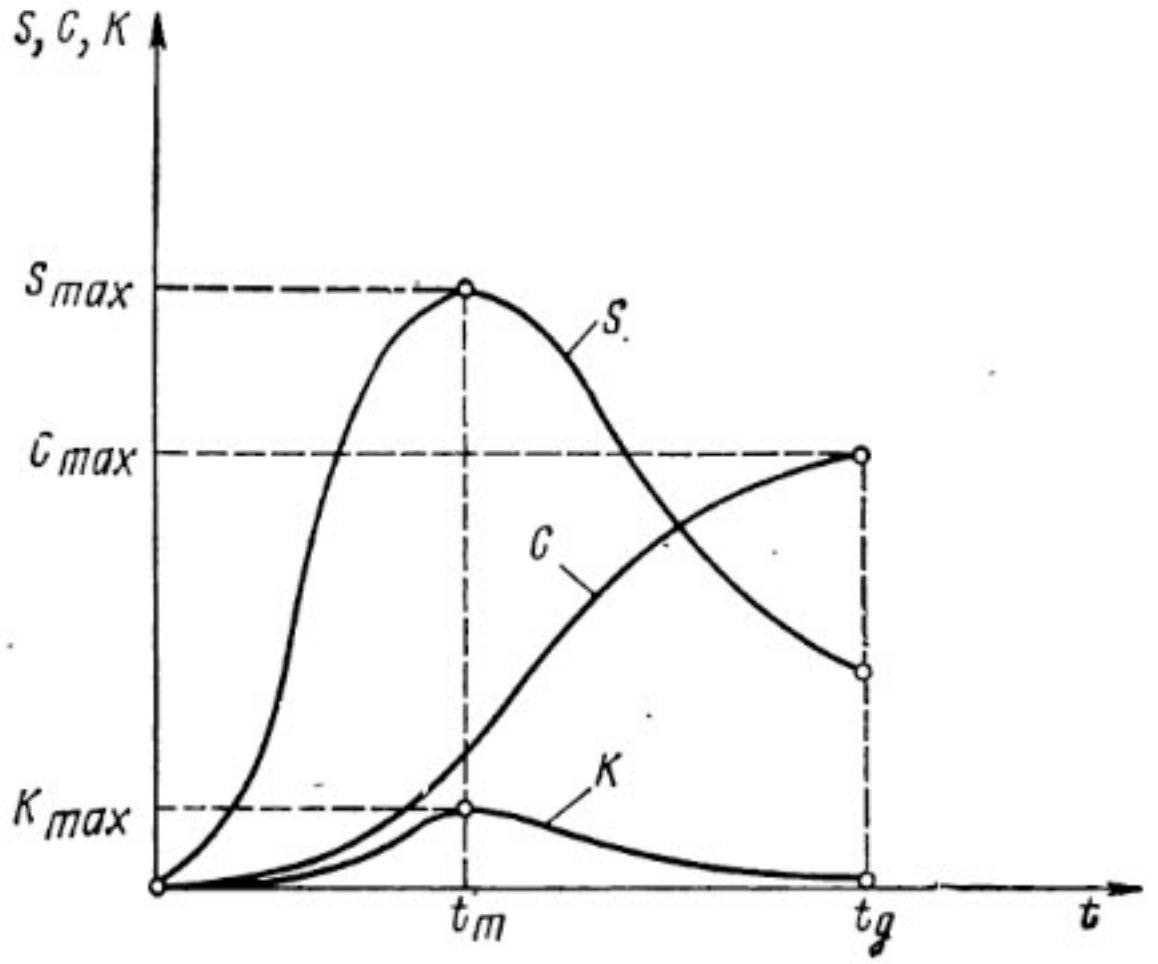


Рис. 5.2. Изменение сил инерции при выстреле

При выстреле из орудия силы S и K изменяются так же, как изменяется величина давления пороховых газов, а сила C так же, как величина скорости снаряда (рис. 5.2). Сила K будет в 10—20 раз меньше силы S.

При движении снаряда по каналу ствола орудия наибольших значений силы S и K достигают в момент, когда давление пороховых газов будет наибольшим, а сила C — в дульном срезе. Наибольшие значения сил S_{max} и K_{max} можно получить подстановкой в формулы (5.8) и (5.9) величины наибольшего давления p_m, а силы C_{max} — подстановкой в формулу (5.10) величины начальной скорости v_0.

Под действием сил инерции, и прежде всего силы S, в стенке оболочки снаряда и в разрывном заряде развиваются напряжения, зная которые можно решить вопрос о прочности снаряда и стойкости снаряжения.

Величина нормальных напряжений получается делением силы S на площадь поперечного сечения s_i оболочки или заряда:

$$\sigma = \frac{S}{s_i}. \qquad (5.11)$$

При этом за $q_{дет}$ следует принимать массу части оболочки или заряда, расположенной над рассматриваемым сечением.

Напряжения при выстреле не должны превосходить допустимых величин.

Действие сил инерции на детали взрывателей может вызвать помимо напряжений их деформации и перемещения, что используется для взведения взрывателей и производства других работ, например запуска дистанционных механизмов, стопорения поворотных колец и т. д.

Силы инерции при выстреле могут достигать громадных значений. Так, на полном заряде 122-мм гаубицы М-30 на снаряд ОФ-462 в момент достижения наибольшего давления пороховых газов будет действовать сила инерции от линейного ускорения, равная $22 \cdot 10^4$ Н, что в 10 тысяч раз превышает силу веса снаряда. Во столько же раз будут превышать силу веса деталей силы инерции, действующие на детали взрывателей. Отношение ускорения силы инерции к ускорению силы веса называется коэффициентом перегрузки.

§ 5.2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В ПОЛЕТЕ

В полете артиллерийский снаряд совершает поступательное и вращательное движение. Центр массы снаряда опишет в пространстве траекторию, снаряд будет вращаться вокруг своей оси, а ось снаряда будет совершать сложное колебательное движение вокруг касательной к траектории.

На снаряд со стороны воздуха будет действовать сила сопротивления воздуха $R_в$, направленная в сторону, обратную движению.

Величина силы сопротивления воздуха определяется по опытной формуле

$$R_в = qcH(y)F(v), \tag{5.12}$$

где c — баллистический коэффициент снаряда:

$$c = \frac{d^2}{q} i\, 10^3 \left[\frac{м^2}{т}\right]; \tag{5.13}$$

i — коэффициент формы снаряда (величина безразмерная);

$H(y)$ — функция плотности воздуха:

$$H(y) = \frac{П}{П_0}; \tag{5.14}$$

$П$ и $П_0$ — весовая плотность воздуха на данной высоте и у Земли;

$F(v)$ — функция сопротивления воздуха.

Проф. Ветчинкин для $H(y)$ предложил эмпирическую формулу

$$H(y) = \frac{20000 - y}{20000 + y}, \tag{5.15}$$

в которой высота над уровнем моря y должна выражаться в м. С увеличением y функция плотности убывает.

Для $F(v)$ предложено множество различных аналитических выражений. Русский баллистик Н. В. Маиевский предложил степенную зависимость

$$F(v) = B_m v^n, \tag{5.16}$$

где B_m и n — опытные коэффициенты.

Определением величины этих коэффициентов занимался также Н. А. Забудский. Значения опытных коэффициентов Маиевского-Забудского различны для разных участков изменения скорости снаряда. Например, в диапазоне скоростей 419—550 м/с следует принимать: $n=2$, $B_m=0{,}304\cdot 10^{-3}$.

Кроме силы сопротивления воздуха на снаряд будет действовать сила веса gq. Уравнение поступательного движения снаряда имеет вид

$$b\frac{dv}{dt} = -R_в - gq\sin\theta, \tag{5.17}$$

где θ — угол наклона касательной к траектории.

Из уравнения (5.17) получим ускорение поступательного движения

$$\frac{dv}{dt} = -J_в - g\sin\theta, \tag{5.18}$$

в котором $J_в$ — ускорение сопротивления воздуха:

$$J_в = cH(y)F(v). \tag{5.19}$$

Вследствие сопротивления воздуха скорость снаряда будет убывать на всей траектории и только при навесной стрельбе может возрастать на конечном участке траектории.

На снаряд со стороны воздуха будут действовать также силы трения. Величина сил трения зависит от состояния поверхности снаряда. Так, сила сопротивления воздуха на 4 и 10% увеличивается при переходе от шлифованной поверхности соответственно к поверхности из-под резца и грубо обработанной поверхности с вмятинами и царапинами.

Касательные составляющие сил трения образуют момент трения, который будет замедлять скорость вращения снаряда вокруг своей оси. Угловая скорость снаряда $\omega_{сн}$ на траектории поэтому непрерывно уменьшается и в точке падения может составлять 50—20% величины $\omega_{сн,0}$ в момент вылета.

Характер изменения угловой скорости определяется формулой проф. Вентцеля

$$\omega_{сн} = \omega_{сн,0}\, e^{-K_\omega t}, \tag{5.20}$$

в которой коэффициент поверхностного трения K_ω определяется равенством, предложенным В. Н. Першиным:

$$K_\omega = 0{,}06\,\frac{d^3 L}{A}, \tag{5.21}$$

где L — полная длина снаряда;

A — осевой момент инерции снаряда.

Дифференцирование равенства (5.20) по времени даст выражение для углового ускорения

$$\frac{d\omega_{\text{сн}}}{dt} = -K_\omega\,\omega_{\text{сн},\,0}\,e^{-K_\omega t}. \tag{5.22}$$

Таким образом, как и при выстреле, в полете частицы снаряда будут испытывать линейное, касательное и центростремительное ускорения и действия соответствующих сил инерции.

Наибольшее значение сил инерции будет в момент вылета снаряда из канала ствола, причем величины сил инерции в полете будут гораздо меньше, чем при выстреле. Вот почему обычно рассматривают действие сил инерции в полете только на детали взрывателей, особенно на свободные после взведения ударники.

При рассмотрении движения детали взрывателя относительно снаряда получают относительную силу инерции от линейного ускорения:

$$F_H = q_{\text{дет}} \cdot cH\,(y)\,F\,(v). \tag{5.23}$$

Относительная сила инерции F_H направлена вперед. Действие ее заключается в том, что деталь взрывателя будет перемещаться вперед (набегать). Поэтому силу F_H называют силой набегания.

Такую же роль на деталь головных взрывателей будет оказывать центробежная сила инерции F'_H, возникающая вследствие колебательного (нутационного) движения оси снаряда с угловой скоростью Ω относительно центра масс снаряда:

$$F'_H = q_{\text{дет}} \cdot l_{\text{дет}}\Omega^2, \tag{5.24}$$

где $l_{\text{дет}}$ — расстояние между центрами масс детали и снаряда.

Угловую скорость Ω называют скоростью нутации, а угол между осью снаряда и касательной к траектории δ (рис. 5.3) — углом нутации. Нутационное движение возникает вследствие начальных возмущений снаряда при вылете (начальный угол нутации или начальный импульс силы) и происходит наиболее интенсивно на начальном участке траектории, особенно при стрельбе из сильно изношенных стволов.

В случае когда начальным возмущением будет импульс силы, для наибольшего значения угловой скорости $\Omega_{\max}$ можно записать выражение

$$\Omega_{\max} = \alpha\delta_{\max}, \tag{5.25}$$

где $\delta_{\max}$ — наибольший угол нутации (для изношенных орудий может достигать 20°);

α — параметр, пропорциональный дульной угловой скорости снаряда:

$$\alpha = \frac{A\omega_{\text{сн. }0}}{2B}; \qquad (5.26)$$

A и B — осевой и экваториальный моменты инерции снаряда.

Зная наибольшее значение скорости нутации, по формуле (5.24) можно получить наибольшую величину силы F'_H. Эта сила

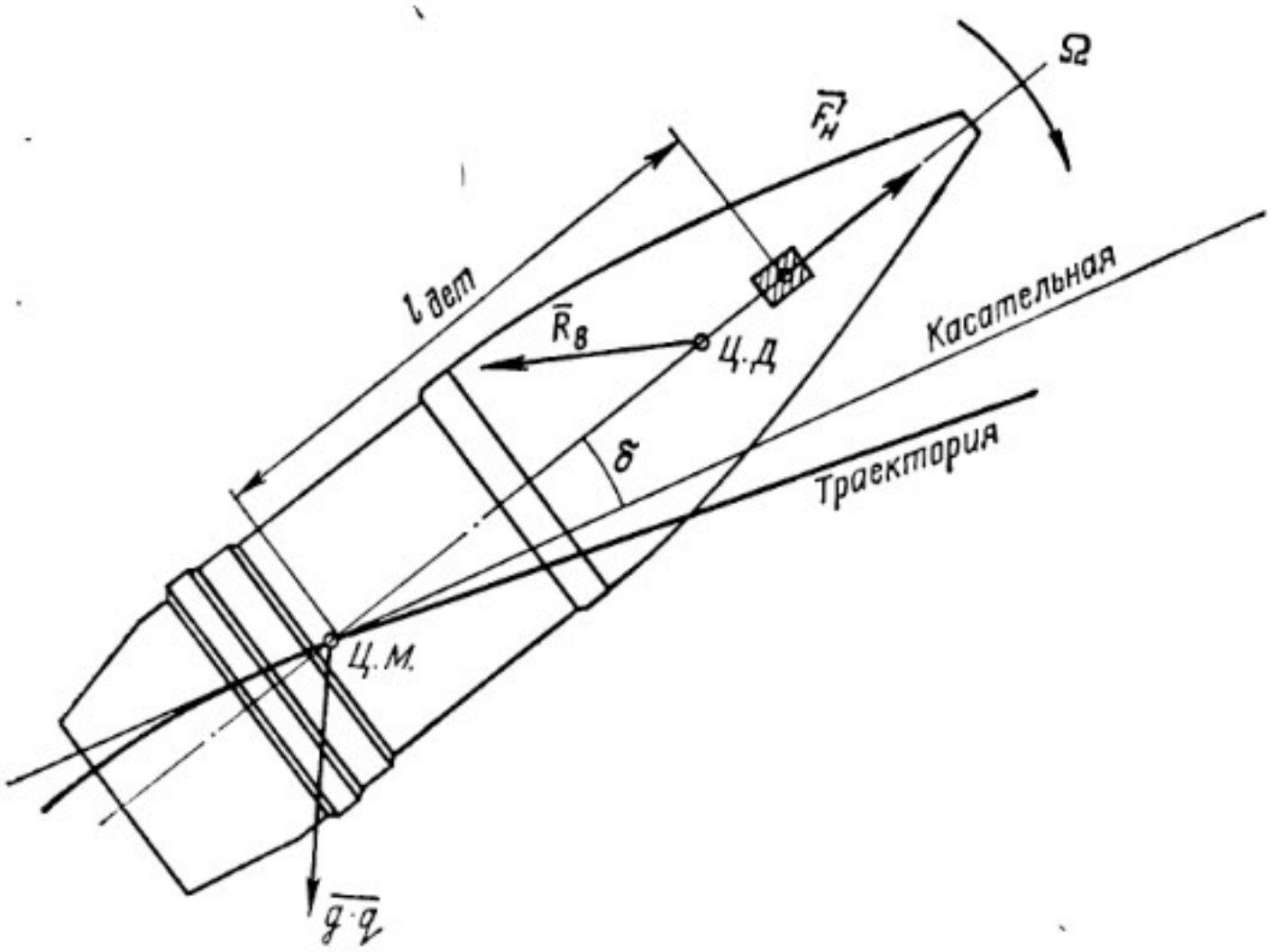


Рис. 5.3. Схема действия силы набегания от нутации

направлена по оси снаряда от центра его массы, т. е. она будет стремиться переместить вперед детали головных взрывателей и назад детали донных взрывателей.

В полете на поверхность снаряда и выступающие детали взрывателя будет действовать сила давления воздуха. Величина давления воздуха зависит от отношения скорости полета к скорости звука и от расположения площадки на поверхности снаряда. Наибольшей величина давления будет в вершине снаряда, а затем постепенно будет убывать к донной (хвостовой) части снаряда.

Величины избыточного давления $\Delta p_в$ в вершине снаряда приведены в табл. 5.1 для нормальной артиллерийской атмосферы и уровня моря.

Сила давления воздуха будет действовать на мембрану головного взрывателя, а при ее нарушении — на ударник, баллистические колпаки бронебойных снарядов и т. д.

При полете снаряда в дождь, снег или град на поверхность снаряда, на мембрану и ударник взрывателя будут действовать силы удара капель (частиц). Если обозначить массы детали и

Таблица 5.1

$v \frac{м}{с}$	$\Delta p_в \cdot 10^{-5} \frac{Н}{м^2}$
0	0,0
200	0,3
400	1,4
1000	10,8
2000	43,9

капли соответственно $q_{дет}$ и $q_{кап}$, а их скорости $v_{дет}$ и $v_{кап}$, то по теории прямого удара получим выражение для импульса силы удара $I_{уд}$:

$$I_{уд} = (1 + \kappa) \frac{q_{дет} q_{кап}}{q_{дет} + q_{кап}} (v_{дет} - v_{кап}), \qquad (5.27)$$

где κ — коэффициент восстановления.

Для абсолютно упругого удара принимают $\kappa = 1$, а для неупругого удара — $\kappa = 0$. Удар капли об ударник можно считать неупругим, причем скорость капли $v_{кап}$ будет намного меньше скорости снаряда $v = v_{дет}$. Тогда формулу (5.27) можно переписать так:

$$I_{уд} = \frac{q_{дет} q_{кап}}{q_{дет} + q_{кап}} v. \qquad (5.28)$$

Величина импульса силы удара капли бывает достаточной для того, чтобы преодолеть сопротивление мембраны, переместить ударник и произвести накол капсюля. Вот почему в дождь, снег или град запрещается стрелять снарядами при снятых предохранительных колпачках взрывателей.

Для 122-мм гаубицы М-30 при стрельбе на полном боевом заряде и массе ударника взрывателя 2 г импульс силы удара капли массой 0,5 г будет равен 210 Н·с, наибольшая величина силы набегания от ускорения сопротивления воздуха 56 Н, а наибольшая величина силы инерции от нутации с максимальным углом нутации 10° — 103 Н. Как видим, действующие в полете силы инерции в несколько раз превышают силу веса ударника, для удержания которых во взрывателях применяются контрпредохранители.

§ 5.3. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРИ ВСТРЕЧЕ С ЦЕЛЬЮ

При встрече с целью происходит действие снаряда у цели (на траектории), при контакте с целью или после прохождения некоторого пути в преграде.

При действии снаряда на траектории на снаряд будут действовать внутренние силы, источники которых содержатся в снаряжении снаряда (разрывной заряд, вышибной заряд, аккумуляторы энергии и т. п.). Основной силой в этом случае будет сила давления продуктов взрыва.

Плотность заряжания снаряда вышибным зарядом достигает 0,9 кг/дм³, а для разрывного заряда приближается к плотности взрывчатого вещества. Поэтому продукты при взрыве будут иметь давление, достигающее сотен тысяч атмосфер. В результате произойдет дробление оболочки снаряда и образуется ударная волна. В момент контакта снаряда с целью на ударник взрывателя будет действовать сила реакции преграды. Можно считать, что ударник при этом мгновенно останавливается, т. е. относительно снаряда он будет перемещаться назад со скоростью снаряда. Накол капсюлей взрывателя произойдет практически мгновенно.

При движении снаряда в преграде на него будет действовать сила сопротивления преграды $R_{пр}$, направленная в обратную сторону. Уравнение поступательного движения снаряда в преграде будет иметь вид

$$q \cdot \frac{dv}{dt} = -R_{пр},$$

откуда найдем величину ускорения поступательного движения

$$j_{пр} = \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{q} R_{пр}. \qquad (5.29)$$

Зная ускорение $j_{пр}$, можно получить силу инерции от линейного ускорения S, которая будет направлена вперед. Эта сила является главной при движении снаряда в преграде.

Снаряд в преграде может иметь вращательное движение, угловая скорость которого будет интенсивно убывать. Вследствие этого на частицы снаряда будут действовать также сила инерции от касательного ускорения и центробежная сила инерции. Однако этими силами можно пренебречь. В настоящее время отсутствует общее выражение для силы сопротивления преграды, поэтому силу инерции от линейного ускорения определяют в каждом конкретном случае отдельно.

Рассмотрим движение снаряда в грунте и в броне. При движении в грунте снаряд проходит некоторый путь $l_{гр}$ до точки, в которой он остановится ($v=0$). Средняя величина линейного ускорения в грунте

$$j_{гр} = \frac{v_c - 0}{t_{гр}}, \qquad (5.30)$$

где $t_{гр}$ — время движения в грунте:

$$t_{гр} = \frac{l_{гр}}{v_{ср}}.$$

Принимая величину средней скорости движения $v_{ср} = \frac{v_c}{2}$, получим

$$t_{гр} = \frac{2l_{гр}}{v_c}.$$

В результате найдем ускорение снаряда в грунте и силу инерции, действующую на элемент снаряда массой $q_{дет}$:

$$j_{гр} = \frac{v_с^2}{2l_{гр}}; \tag{5.31}$$

$$S_{гр} = q_{дет} \frac{v_с^2}{2l_{гр}}. \tag{5.32}$$

Величина пути снаряда в грунте определяется по Березанской формуле, которая приводится в следующей главе.

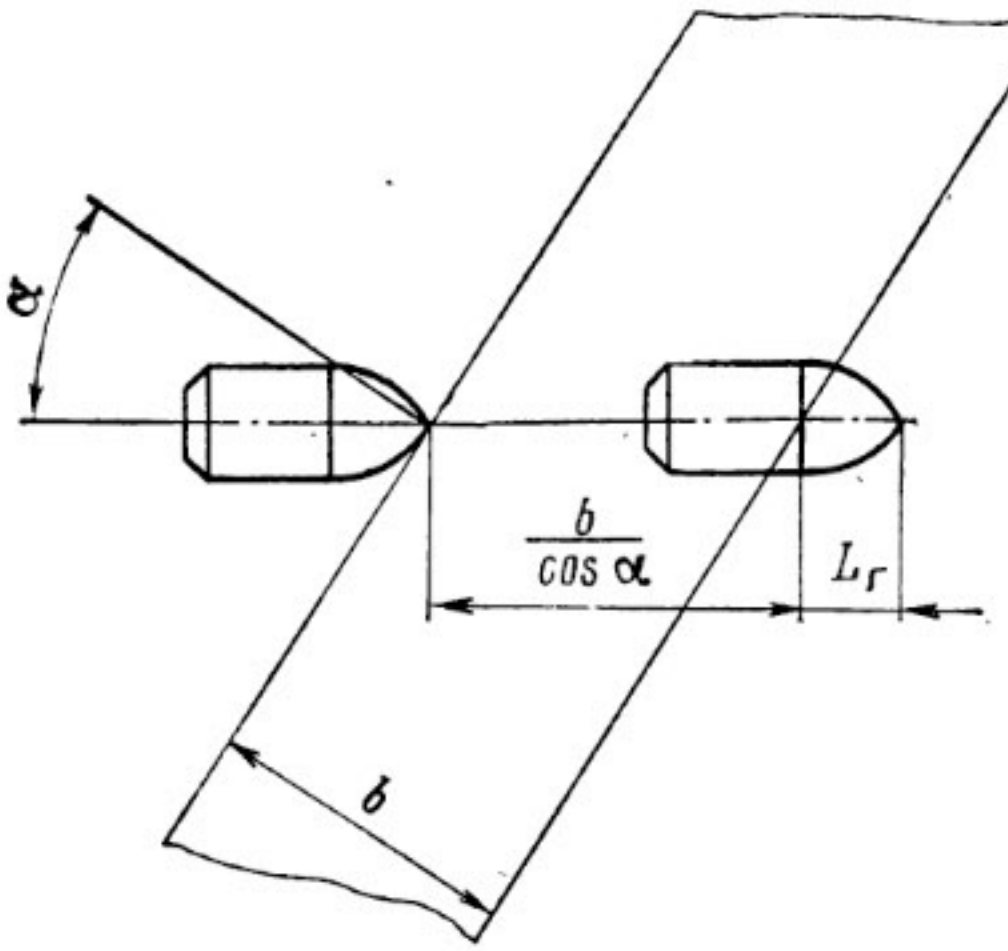


Рис. 5.4. Схема пробития брони

При движении снаряда в броне (рис. 5.4) снаряд теряет часть кинетической энергии на работу силы сопротивления брони, равную $R_{бр} l_{бр}$. Запишем равенство

$$\frac{qv_с^2}{2} - \frac{qv_к^2}{2} = R_{бр} l_{бр},$$

из которого получим величину силы сопротивления

$$R_{бр} = \frac{q\left(v_с^2 - v_к^2\right)}{2l_{бр}}, \tag{5.33}$$

где $v_к$ — скорость снаряда после пробития брони.

Если ввести некоторую минимальную скорость снаряда v_{min}, обеспечивающую пробитие брони, то можно записать равенство

$$\frac{qv_к^2}{2} = \frac{qv_с^2}{2} - \frac{qv_{min}^2}{2},$$

из которого следует

$$v_к = \sqrt{v_с^2 - v_{min}^2}. \tag{5.34}$$

Величина v_{min} вычисляется по формуле Жакоб-де-Марра, приводимой в следующей главе.

Для пробития брони снаряд должен пройти путь $l_{бр}$, который в соответствии с рис. 5.4 равен

$$l_{бр} = \frac{b}{\cos \alpha} + L_г. \tag{5.35}$$

Ускорение снаряда в броне найдем по формуле (5.29)

$$j_{бр} = \frac{v_с^2 - v_к^2}{2\left(\frac{b}{\cos \alpha} + L_г\right)}. \tag{5.36}$$

Формула (5.36) впервые была предложена русским артиллеристом А. Ф. Бринком.

Сила инерции от линейного ускорения $S_{бр}$, действующая на элемент снаряда массой $q_{дет}$ при пробитии брони, будет равна

$$S_{бр} = q_{дет} \frac{v_с^2 - v_к^2}{2\left(\frac{b}{\cos \alpha} + L_г\right)}. \tag{5.37}$$

Как видим, сила инерции от линейного ускорения при движении снаряда в преграде прямо пропорциональна массе элемента и квадрату окончательной скорости снаряда и обратно пропорциональна пути снаряда в преграде.

За величину массы элемента следует принимать массу части оболочки снаряда или заряда, располагающейся сзади рассматриваемого сечения, т. е. наседающей на это сечение.

Для 122-мм снарядов сила инерции при движении в грунте достигает $5 \cdot 10^4$ Н, а при пробитии брони — $200 \cdot 10^4$ Н. Поскольку в первом случае сила меньше, чем при выстреле, то, очевидно, при движении в грунте снаряд не будет разрушаться. При пробитии брони сила инерции в несколько раз превосходит аналогичную силу при выстреле и поэтому бронебойные снаряды частично разрушаются.

При хранении, погрузке и транспортировке боеприпасов на их элементы будут также действовать силы, например силы реакции опор и силы инерции при падении на преграду или качении по наклонной поверхности. Чтобы эти силы не вызвали нежелательных последствий, необходимо работы с боеприпасами проводить з строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации.

ГЛАВА 6

АРТИЛЛЕРИЙСКИЕ СНАРЯДЫ

§ 6.1. КОНСТРУКЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СНАРЯДОВ

Снарядом называется элемент выстрела, предназначенный для полета к цели и для поражения цели или обеспечения поражения цели другими средствами.

Полет снаряда к цели должен быть устойчивым, т. е. снаряд не должен кувыркаться, а его ось должна следить за направлением движения центра масс. Это достигается путем стабилизации снаряда.

Для поражения цели снаряд с помощью взрывателя приводится в действие. При этом создаются поражающие факторы, т. е. местные физические или другие явления, вызывающие нужные изменения свойств цели. В ряде случаев требуются снаряды для выполнения специальных задач, таких, как освещение местности ночью, постановка дымовых завес или целеуказание. Эти снаряды обеспечивают поражение цели с помощью других боевых средств.

Разнообразие целей на поле боя и задач, выполняемых артиллерией в бою, а также разнообразие образцов артиллерийского вооружения привели к разработке большого количества снарядов, отличающихся друг от друга по устройству и действию. Все снаряды делятся на группы (классифицируются) по общности следующих признаков: типа артиллерийского вооружения, назначения снаряда, калибра снаряда, соотношения калибров снаряда и орудия, способа стабилизации.

По типу артиллерийского вооружения снаряды делятся на артиллерийские снаряды, мины, реактивные снаряды, активно-реактивные снаряды (АРС) и активно-реактивные мины (АРМ).

По назначению снаряды делятся на три группы: основного, специального и вспомогательного назначения.

Снаряды основного назначения служат для поражения целей. Сюда относятся фугасные, осколочные, осколочно-фугасные, бетонобойные, бронебойные, кумулятивные снаряды и шрапнели. Выстрелы со снарядами основного назначения включаются в состав боекомплектов орудий.

Снаряды специального назначения предназначены для решения специальных боевых задач. К таким снарядам относятся зажигательные, дымовые, пристрелочно-целеуказательные, осветительные, агитационные и др. Выстрелы со снарядами специального назначения не включаются в состав боекомплектов орудий, а доставляются на огневую позицию при необходимости.

Часто зажигательные снаряды относят к снарядам основного назначения. Однако по общности назначения, доставки, устройства и действия их целесообразнее отнести к снарядам специального назначения.

Снаряды вспомогательного назначения не применяются для боевой стрельбы, а предназначаются для учебных стрельб и стрельб при полигонных испытаниях вооружения. К ним относятся практические, баллистические, плитопробные, лафетопробные и другие снаряды.

По величине калибра снаряды делятся на три группы: малого (менее 76 мм), среднего (76—152 мм) и крупного (более 152 мм) калибров.

По соотношению калибров снаряда и орудия снаряды делятся на калиберные, подкалиберные и надкалиберные.

По способу стабилизации снаряды делятся на вращающиеся и оперенные.

Вращающимся снарядам при выстреле сообщается необходимая скорость вращения вокруг продольной оси, в результате снаряд получает свойства гироскопа сохранять направление своей оси в пространстве и становится устойчивым.

Вращающимися бывают артиллерийские снаряды и реактивные, называемые тогда турбо-реактивными снарядами (ТРС). Угловая скорость вращения снаряда измеряется десятками тысяч оборотов в минуту.

Устойчивость оперенных снарядов обеспечивается с помощью специальных устройств — стабилизаторов. Оперенными снарядами являются мины и могут быть артиллерийские и реактивные снаряды.

К снарядам предъявляются следующие основные требования: могущество действия, дальнобойность, безопасность в служебном обращении и при выстреле, кучность боя.

Снаряд состоит из оболочки, снаряжения, взрывателя и дополнительных элементов. К дополнительным элементам относятся ведущее устройство, стабилизирующее устройство, трассёр.

Оболочка снаряда предназначена для придания снаряду формы, размещения снаряжения и других элементов, поражения цели. Снаряжение снаряда размещается внутри оболочки — в каморе, поэтому такие снаряды называются каморными. Для изготовления оболочек применяются снарядные стали различных марок, а также сталистый чугун, при получении которого используют до 30% стального лома. Оболочка снаряда может быть цельнокорпусной или сборной, состоящей из корпуса, привинтной голов-

ки, ввинтного дна и т. д. В головной или донной части оболочки имеется очко под взрыватель.

Снаряжение снарядов основного назначения представляет собой разрывной заряд из бризантного взрывчатого вещества (ВВ). Основными бризантными ВВ, применяемыми для изготовления разрывных зарядов, являются тротил, аммотолы с тротиловой пробкой и без нее, смеси тротила с гексогеном или флегматизированного гексогена. Флегматизация ВВ заключается во введении в него масел, вазелина, парафина. Изготовляются разрывные заряды прессованием, шнекованием (с помощью шнек-винта) или заливкой.

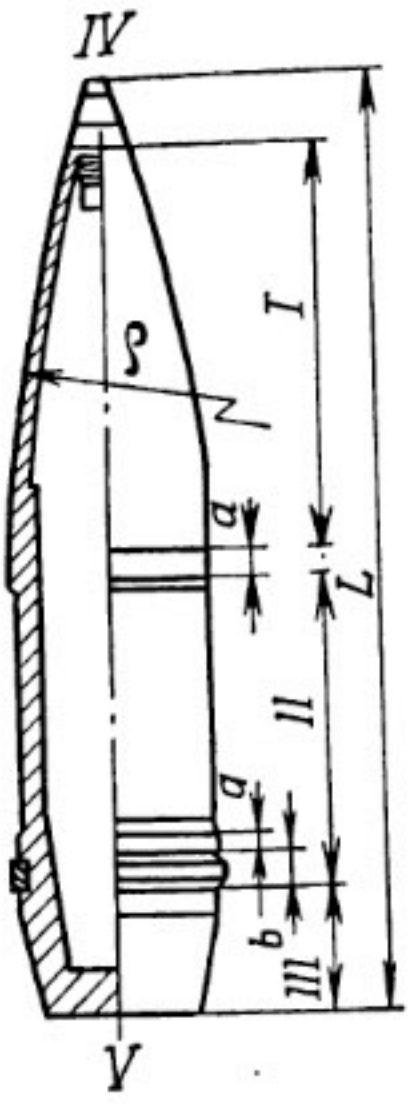


Рис. 6.1. Очертания снаряда

Снаряжение снарядов специального назначения содержит заряд специального состава: осветительного, зажигательного, дымообразующего, обеспечивающий получение нужного эффекта. Кроме того, для обеспечения нормального действия таких снарядов в состав снаряжения входят вышибной или разрывной заряд и специальные элементы (парашютная система, газодинамические устройства, силовые элементы).

Ведущее устройство снаряда предназначено для ведения снаряда при выстреле по каналу ствола или по направляющей (для реактивных снарядов). В состав ведущей части входят элементы снаряда, соприкасающиеся при выстреле со стволом или направляющей: центрующие утолщения (поверхности), ведущие и обтюрирующие пояски, ведущие кольца, поддоны, ведущие выступы, нарезы, штифты и т. п.

Стабилизирующее устройство оперенного снаряда обычно состоит из стабилизатора, расположенного в хвостовой части снаряда и состоящего из корпуса, перьев и дополнительных элементов (рис. 4.4).

Снаряд является телом вращения, полученным путем вращения плоской геометрической фигуры вокруг оси симметрии снаряда. Наружная поверхность снаряда образует его форму.

По наружному очертанию снаряд делится на следующие части (рис. 6.1): головная часть I, цилиндрическая часть II, хвостовая часть III, вершина снаряда IV, донный срез V. У оперенных снарядов за хвостовой частью располагается стабилизатор, а у реактивных снарядов — ракетная часть. Форма головной части оболочки может быть конической или оживальной, т. е. образованной вращением дуги окружности вокруг оси снаряда. Цилиндрическая часть снаряда образует основной объем снаряда, в котором размещается снаряжение или камера реактивного двигателя. Хвостовая часть снаряда способствует уменьшению так называемого донного сопротивления, возникающего за счет разрежения воздуха

за донным срезом. У артиллерийских снарядов хвостовая часть обычно бывает конической с углом наклона образующей, равным 9°. Хвостовая часть артиллерийских снарядов вместе с прилегающим к ней участком цилиндрической части до задней кромки ведущего пояска называется запоясковой частью снаряда.

Очертания внутренней полости оболочки снаряда выбирают из условий размещения в ней снаряжения. При этом стремятся обеспечить наибольший объем и удобство снаряжения снаряда.

Для сравнительной оценки свойств снарядов пользуются числовыми характеристиками, которые включают основные параметры снаряда и его отдельных элементов. Все эти параметры могут быть измерены в процессе изготовления, а многие и при эксплуатации снаряда. С помощью характеристик снаряда можно сделать описание устройства и действия снаряда, обнаружить отличия одного снаряда от другого, сравнить данные снаряда с данными документации, правильно организовать боевое применение снарядов и т. д.

Обычно рассматривают четыре группы характеристик снаряда: геометрические, массовые, конструктивные и баллистические.

Геометрические характеристики определяют форму и размеры снаряда и могут быть линейными, площадными, объемными, угловыми. К ним относятся, например, калибр снаряда d, радиус оживала ρ, полная длина снаряда L, длина головной части $L_г$, площадь сечения s_i, объем каморы $W_{кам}$, угол при вершине $\gamma_г$ и т. д. Применяются относительные (безразмерные) характеристики типа

$$\bar{L}=\frac{L}{d};\quad \bar{L}_г=\frac{L_г}{d};\quad \bar{\rho}=\frac{\rho}{d}. \tag{6.1}$$

Массовые характеристики определяют массу снаряда и отдельных его частей. Массу окончательно снаряженного снаряда обозначают через q. Массу отдельных частей снаряда обозначают через q с индексом, например $q_{взр}$ — масса взрывателя. Массу разрывного заряда обозначают через $\omega_{ВВ}$, а отдельных частей его через ω с индексом, например $\omega_{ос}$ — масса осветительного состава.

Относительные массовые характеристики показывают, какую часть массы снаряда или массы снаряжения составляет масса элемента:

$$\bar{q}_{взр}=\frac{q_{взр}}{q};\quad \bar{\omega}_{ВВ}=\frac{\omega_{ВВ}}{q};\quad \bar{\omega}_{ос}=\frac{\omega_{ос}}{q}. \tag{6.2}$$

Конструктивные характеристики снаряда определяют главные особенности устройства и совершенство конструкции снаряда. Как правило, конструктивные характеристики являются сложными параметрами, выражаются через несколько простых и имеют сложную размерность.

Важнейшими конструктивными характеристиками снаряда являются:

— коэффициент массы снаряда c_q:

$$c_q = \frac{q}{d^3} \left[\frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}\right]; \qquad (6.3)$$

— относительная толщина стенки оболочки $\bar{\delta}$:

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{d}, \qquad (6.4)$$

где δ — средняя толщина стенки;

— коэффициент наполнения снаряда взрывчатым веществом $\alpha_{\text{ВВ}}$:

$$\alpha_{\text{ВВ}} = \frac{\omega_{\text{ВВ}}}{q} 100\%; \qquad (6.5)$$

— коэффициент поперечной нагрузки снаряда K:

$$K = \frac{q}{s} \left[\frac{\text{кг}}{\text{дм}^2}\right], \qquad (6.6)$$

где s — площадь наибольшего поперечного сечения снаряда.

К конструктивным характеристикам относятся также число ведущих поясков $n_{\text{в. п}}$, центрующих утолщений $n_{\text{ц. у}}$, перьев стабилизатора $n_{\text{п}}$ и др.

Баллистические характеристики снаряда определяют особенности поступательного и вращательного движения снаряда.

Таблица 6.1

Тип снаряда	$\bar{L}$	$\bar{\delta}$	$c_q \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}$	$\alpha_{\text{ВВ}}$ %
Фугасный	4,5—5,0	$\frac{1}{15} - \frac{1}{6}$	8—14	10—25
Осколочно-фугасный	4,5—5,5	$\frac{1}{8} - \frac{1}{6}$	12—14	10—15
Осколочный	4,4—6,0	$\frac{1}{6} - \frac{1}{4}$	14—16	5—10
Бетонобойный	4,5—5,6	$\frac{1}{8} - \frac{1}{5}$	11—18	7—18
Бронебойный калиберный	3,0—4,0	$\frac{1}{5} - \frac{1}{3}$	13—20	0,5—2,5
Мина фугасная	5,0—8,0	$\frac{1}{20} - \frac{1}{20}$	10—15	25—35
Реактивный снаряд оперенный	8,0—15,0	$\frac{1}{30} - \frac{1}{30}$	2—8	15—55

Основной баллистической характеристикой снаряда является баллистический коэффициент c:

$$c = \frac{d^2}{q} i\, 10^3 \left[\frac{\text{м}^2}{\text{т}}\right]. \qquad (6.7)$$

Величина d выражается в метрах, а величина q — в килограммах.

К баллистическим характеристикам относятся также коэффициент формы i, осевой и экваториальный моменты инерции A и B, расстояние между центром давления и центром масс снаряда $l_{\text{ц. д}}$ и др.

В табл. 6.1 даны некоторые характеристики снарядов различного назначения.

§ 6.2. УДАРНОЕ ДЕЙСТВИЕ СНАРЯДОВ

Ударное действие заключается в проникании снаряда в преграду за счет кинетической энергии $E_{\text{с}}$, которую снаряд имеет в момент встречи с целью:

$$E_{\text{с}} = \frac{qv_{\text{с}}^2}{2}. \qquad (6.8)$$

Преграда представляет собой более или менее плотную по сравнению с воздухом среду, разделенную с атмосферой внешней поверхностью. Преграда может быть неограниченной, если ее протяженность много больше пути, проходимого в ней снарядом (грунт, вода), или ограниченной, если путь снаряда соизмерим с протяженностью преграды (стенки сооружений, броня). В последнем случае преграда имеет еще внутреннюю (тыльную) поверхность и характеризуется толщиной b.

Поражающим фактором при ударном действии является кинетическая энергия снаряда, которая при встрече с преградой расходуется в основном на деформацию, разрушение и перемещение среды, а частично на деформацию или разрушение снаряда, сотрясение и нагрев среды и снаряда. Например, при ударе снаряда в железобетонную стенку от сотрясения может произойти откол бетона с тыльной поверхности. В неограниченной преграде снаряд движется до момента взрыва или до остановки, когда кинетическая энергия снаряда будет израсходована. На пробитие ограниченной преграды может быть израсходована только часть кинетической энергии, и тогда снаряд за преградой будет иметь остаточную скорость $v_{\text{к}}$.

Ударное действие является единственным для снарядов, не имеющих снаряжения, например бронебойных подкалиберных снарядов (рис. 6.2). Однако чаще оно сочетается с фугасным, осколочным и зажигательным действием у каморных бронебойных, бетонобойных, осколочно-фугасных и фугасных снарядов. Для каморных бронебойных (рис. 6.3) и для бетонобойных (рис. 6.4) снарядов ударное действие является основным, а для осколочно-

фугасных и фугасных снарядов оно обеспечивает взрыв снаряда в оптимальной точке преграды.

За характеристику ударного действия можно принять путь $l_{пр}$, проходимый снарядом в преграде до полного израсходования кинетической энергии. Считая траекторию снаряда в неограниченной

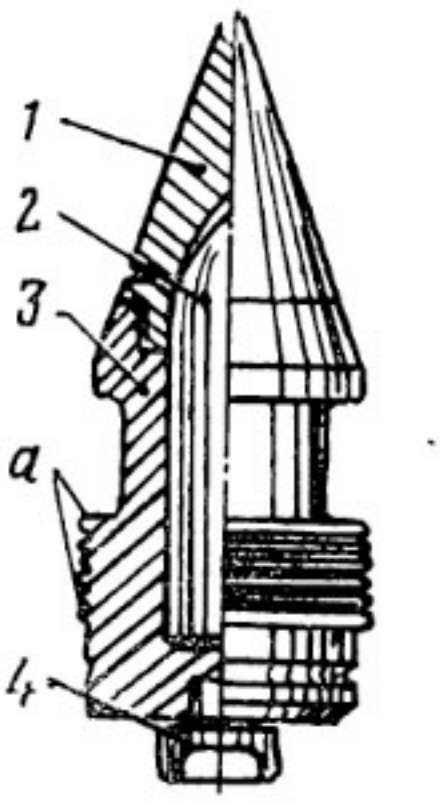


Рис. 6.2. Бронебойно-трассирующий подкалиберный снаряд катушечной формы:

1 — баллистический наконечник; *2* — сердечник; *3* — поддон; *4* — трассер; *а* — кольцевые утолщения

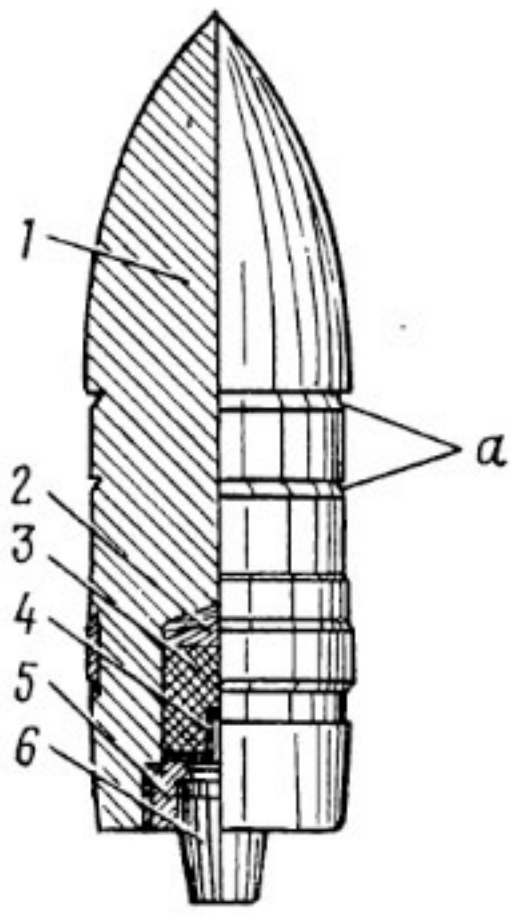


Рис. 6.3. Каморный бронебойно-трассирующий калиберный снаряд:

1 — корпус; *2* — вкладыш; *3* — разрывной заряд; *4* — донный взрыватель; *5* — ввинтное дно; *6* — трассер; *а* — подрезы-локализаторы

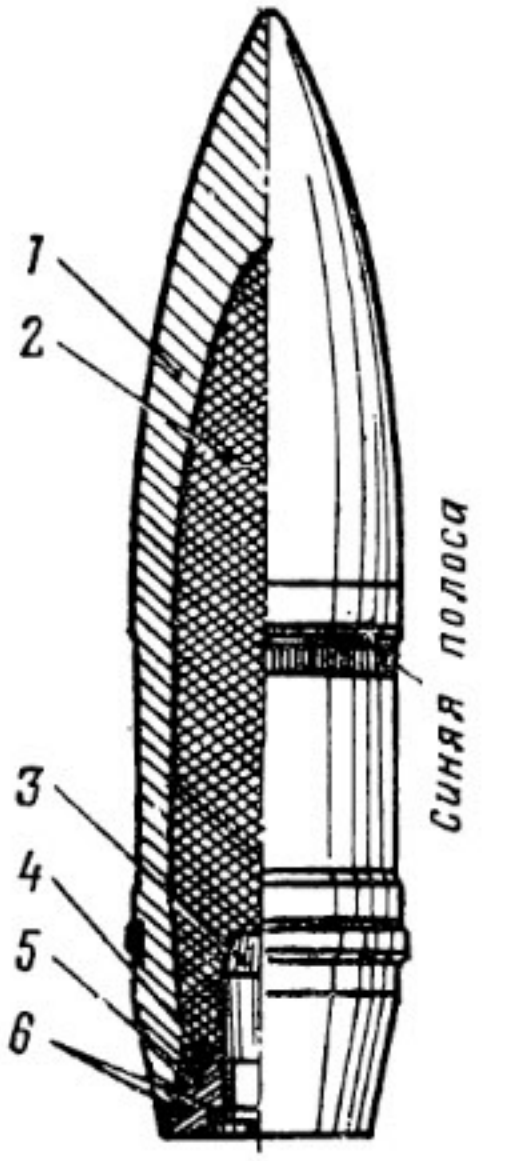


Рис. 6.4. Бетонобойный снаряд:

1 — корпус; *2* — разрывной заряд; *3* — донный взрыватель; *4* — прокладки; *5* — ввинтное дно; *6* — свинцовые кольца

преграде прямолинейной, вместо пути $l_{пр}$ вводят другую характеристику — глубину проникания h снаряда в преграду (рис. 6.5). Между этими величинами существует очевидная связь

$$h = l_{пр} \cos \alpha, \qquad (6.9)$$

где α — угол встречи снаряда с преградой, заключенной между нормалью к поверхности преграды и касательной к траектории снаряда.

Для определения глубины проникания снаряда в преграду наиболее распространена Березанская формула, полученная в 1912 г. по данным специальных стрельб на о-ве Березань в Черном море:

$$h = \lambda k_{п} \frac{q}{d^2} v_{с} \cos \alpha, \text{ м}, \qquad (6.10)$$

где q — масса снаряда, кг;
d — калибр, м;
v_c — окончательная скорость снаряда, м/с;
λ — коэффициент, характеризующий форму снаряда и зависящий от длины головной части (при $\overline{L_г}=1{,}5$ $\lambda=1$; при $\overline{L_г}=2{,}5$ $\lambda=1{,}3$);

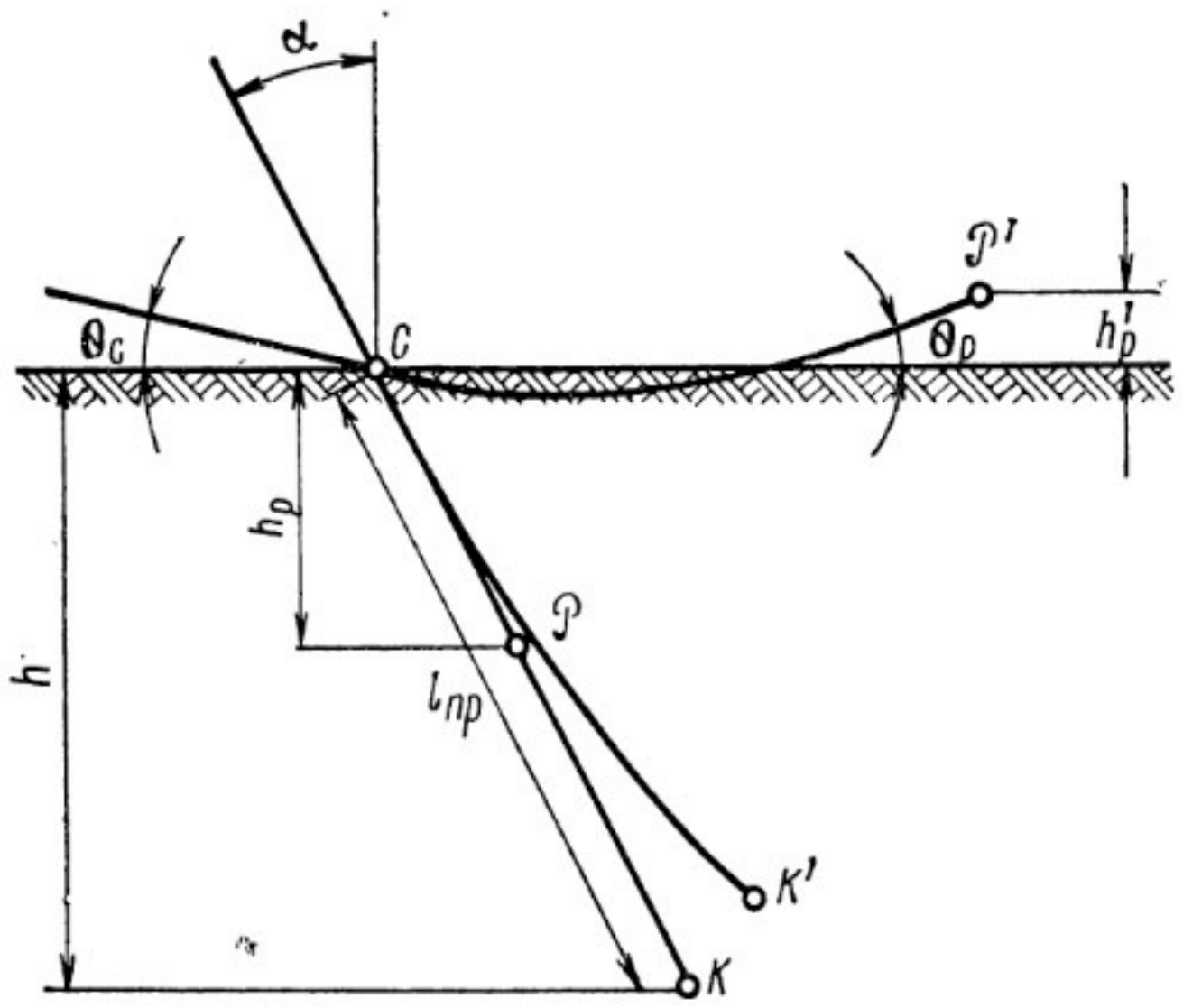


Рис. 6.5. Движение снаряда в среде

$k_п$ — коэффициент, характеризующий свойства среды и принимающий значения, указанные в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Преграда	$10^6 k_п$	$k_р$
Земля рыхлая, мокрый глинистый грунт, болотистая почва	10,0	1,4
Земля плотная, обыкновенный растительный грунт	5,5	1,07
Земля, смешанная с камнем, песок	5,0	1,0
Глина с песком, мерзлый грунт	4,5	0,96
Песчаник, известняк	3,0	0,92
Каменная кладка	2,5	0,84
Бетон	1,3	0,77
Железобетон	0,9	0,65

Формула (6.10) показывает, что глубина проникания снаряда растет с увеличением длины головной части, окончательной скорости, отношения массы к квадрату калибра или, что то же, коэф-

фициента поперечной нагрузки снаряда и с уменьшением прочности (плотности) среды, угла встречи с преградой.

Глубина проникания в грунт средней плотности 122-мм осколочно-фугасного снаряда гаубицы М-30 при стрельбе на дальность 10 км (заряд полный) равна 1,6 м.

Кроме перечисленных факторов на глубину проникания снаряда могут оказывать влияние дополнительные обстоятельства и прежде всего условия встречи снаряда с преградой. При углах встречи, больших 50°, траектория снаряда в среде становится криволинейной, причем снаряд стремится выйти из преграды (рис. 6.5). При углах падения θ_c, меньших 30°, снаряд начинает выскакивать из преграды под некоторым углом $\theta_р$. Это явление называется рикошетом. Величина угла $\theta_р$ на несколько (до пяти) градусов больше угла падения. При углах падения, меньших 10°, снаряд рикошетирует, не углубляясь в грунт, оставляя на поверхности след в виде борозды.

Явление рикошета используют при стрельбе для получения воздушного разрыва в целях повышения осколочного действия.

Вращающийся снаряд при движении в среде, кроме того, отклоняется вправо от плоскости стрельбы по тем же причинам, по которым происходит деривация снаряда.

Формула (6.10) дает удовлетворительные результаты при углах встречи, меньших 50—70°. Другим обстоятельством, которое следует учитывать, является взаимодействие снаряда и преграды в момент встречи. При углах встречи, близких к нулю, силы давления и трения среды будут приложены к снаряду симметрично относительно его оси и результирующая сила (сила сопротивления среды) пройдет приблизительно через центр масс. При больших углах встречи отмеченная симметрия будет отсутствовать, вследствие чего сила сопротивления среды будет создавать разворачивающий момент. В результате создаются условия для рикошета снаряда, особенно при прочной преграде. Чтобы уменьшить вероятность рикошета, головную часть снаряда притупляют, что приводит к «закусыванию» снаряда и к сообщению снаряду при ударе импульса, противоположного по направлению импульсу от разворачивающего момента.

Разворот снаряда при встрече с преградой учитывается при определении глубины проникания в преграду бетонобойных снарядов. Для этого в формуле (6.10) величина $\cos\alpha$ заменяется множителем $\frac{\cos(n\alpha)}{\sqrt{\cos\alpha}}$, содержащим коэффициент n, учитывающий разворот снаряда. Величина коэффициента n принимается равной 2,6 при недальнобойной форме и 1,8 при дальнобойной форме снаряда.

За характеристику ударного действия по ограниченной преграде можно принять такую толщину стенки b^*, которую снаряд пробьет, израсходовав на это всю свою кинетическую энергию. Поскольку обычно толщина стенки является величиной заданной, то за характеристику ударного действия удобнее принимать наи-

меньшую величину скорости снаряда в момент встречи v_{min}, необходимую для пробития преграды заданной толщины.

Для бронебойных снарядов характеристика ударного действия определяется по эмпирической формуле Жакоб-де-Марра

$$v_{min} = K \frac{d^{0,75} b^{0,7}}{q^{0,5} \cos \alpha}, \qquad (6.11)$$

где K — коэффициент, зависящий от свойств брони и конструкции снаряда.

При применении формулы (6.11) величины d и b следует выражать в дециметрах, величину q — в килограммах, результат же будет получен в м/с. Величина коэффициента K колеблется в пределах 2000—3000 для снарядов с притуплением и гетерогенной, т. е. неоднородной, цементированной брони, а также для остроголовых снарядов и гомогенной (однородной) брони средней и высокой твердости. Для гомогенной брони низкой твердости величина K лежит в пределах 1600—2000. С помощью формулы (6.11), зная характеристики снарядов и брони (d, q, K) и условия встречи снаряда с броней (v_c, α), можно определить наибольшую толщину пробиваемой брони.

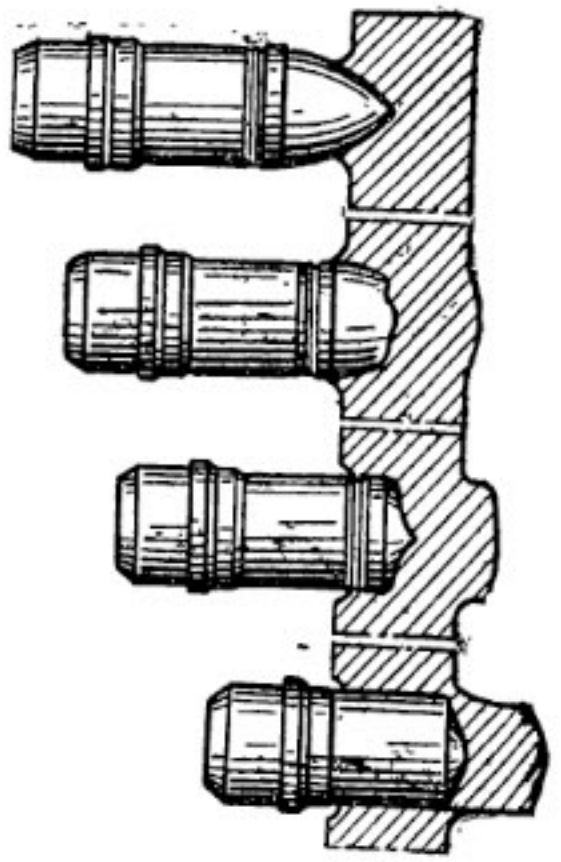


Рис. 6.6. Схема ударного действия калиберного бронебойного снаряда

Из формулы (6.11) следует, что потребная скорость для пробития брони растет с увеличением толщины брони и угла встречи. Что касается влияния калибра и веса снаряда, то здесь остается в силе высказанное выше положение о влиянии коэффициента поперечной нагрузки на ударное действие. Из формулы вытекает, что для бронебойных снарядов одной конструкции ($c_q = \text{const}$) с увеличением калибра величина v_{min} уменьшается, поскольку имеет место равенство

$$\frac{d^{0,75}}{q^{0,5}} = \frac{d^{0,75}}{c_q^{0,5} d^{1,5}} = \frac{1}{c_q^{0,5} d^{0,75}}.$$

При увеличении массы снаряда заданного калибра величина также уменьшается.

При действии калиберных бронебойных снарядов по броне, как правило, происходит выбивание пробки, диаметр которой приблизительно равен калибру снаряда. При этом головная часть снаряда постепенно разрушается, а подрезы-локализаторы ограничивают распространение разрушения на камору снаряда, что видно из рис. 6.6. Современные калиберные бронебойно-трассирующие снаряды пробивают броню по нормали толщиной не менее одного калибра.

При действии подкалиберных бронебойных снарядов с сердечником последний пробивает броню, подвергаясь при этом силь-

ному сжатию. После пробития брони сравнительно хрупкий сердечник, изготовленный из карбида вольфрама, под действием внутренних сил может рассыпаться, произведя осколочное действие за броней.

Кинетическая энергия поддона частично передается сердечнику, что должно учитываться в формуле (6.11) путем замены массы снаряда q меньшей величиной $(q_{сер}+\mu q_{под})$, в которой к массе сердечника $q_{сер}$ добавляется часть массы поддона $q_{под}$ $(\mu=0{,}4\div0{,}5)$. Величину K в данном случае следует принимать равной 3000.

Для обеспечения заданного ударного действия снаряды должны обладать достаточной прочностью. Поэтому снаряды, для которых ударное действие является основным, имеют сплошную головную часть и донный взрыватель. Кроме того, конструкция таких снарядов должна обеспечивать возможность получения высокой скорости снаряда в момент встречи с преградой и исключить по возможности рикошетирование снарядов, когда это не предусмотрено условиями стрельбы. Для этого бетонобойным снарядам придается совершенная форма, создаются бронебойные подкалиберные (легкие) снаряды, калиберные бронебойные снаряды снабжаются подрезами-локализаторами и бронебойными наконечниками, на головной части бронебойных снарядов делают притупление специальной формы и т. п.

§ 6.3. ОСКОЛОЧНОЕ ДЕЙСТВИЕ СНАРЯДОВ

Осколочное действие заключается в поражении цели осколками, образующимися при разрыве снаряда и обладающими определенными массой, скоростью и направлением движения.

Осколочное действие является основным для осколочных и осколочно-фугасных снарядов (рис. 6.7) при установке взрывателя на осколочное действие. Осколочным действием обладают также фугасные, бетонобойные, бронебойные и кумулятивные снаряды.

Осколки образуются из оболочки снаряда, которая должна иметь необходимое количество металла. В некоторых случаях кроме металла оболочки для осколочного действия используются специальные убойные элементы, содержащиеся в снаряде.

Поражающим фактором при осколочном действии является кинетическая энергия осколка или специального поражающего элемента $E_{оск}$:

$$E_{оск}=\frac{q_{оск}v_{оск}^2}{2}, \qquad (6.12)$$

где $q_{оск}$ — масса осколка;

$v_{оск}$ — абсолютная скорость осколка (относительно Земли).

Осколочное действие аналогично ударному действию и отличается тем, что от момента встречи с целью снаряда (момента разрыва) до момента поражения цели осколок должен пройти некоторый путь в пространстве.

Кинетическую энергию осколок получает при дроблении оболочки за счет энергии взрыва разрывного заряда. При взрыве на внутреннюю поверхность оболочки будут действовать огромные силы давления продуктов взрывчатого превращения, которые разрывают оболочку на осколки и сообщают каждому осколку импульс. Скорость осколка относительно снаряда может быть определена по формуле

$$v_{\text{оск}} = 0{,}1D\sqrt{\frac{q-\omega_{\text{вв}}}{\omega_{\text{вв}}}}. \qquad (6.13)$$

Значения $v_{\text{оск}}$ лежат в пределах 1000—1500 м/с.

При движении осколка от точки разрыва снаряда до цели он описывает в пространстве некоторую криволинейную траекторию. При этом за счет действия на него силы сопротивления воздуха скорость осколка падает.

Убойным осколком называется такой осколок, удельная энергия $E^*_{\text{оск}}$ которого будет больше некоторой величины $E^*_{\text{уб}}$:

$$E^*_{\text{оск}} = \frac{E_{\text{оск}}}{S_{\text{к}}}, \qquad (6.14)$$

где $S_{\text{к}}$ — площадь контакта осколка с целью.

Обычно величину $E^*_{\text{уб}}$ для живых целей принимают равной $1 \cdot 10^6$ Дж/м^2.

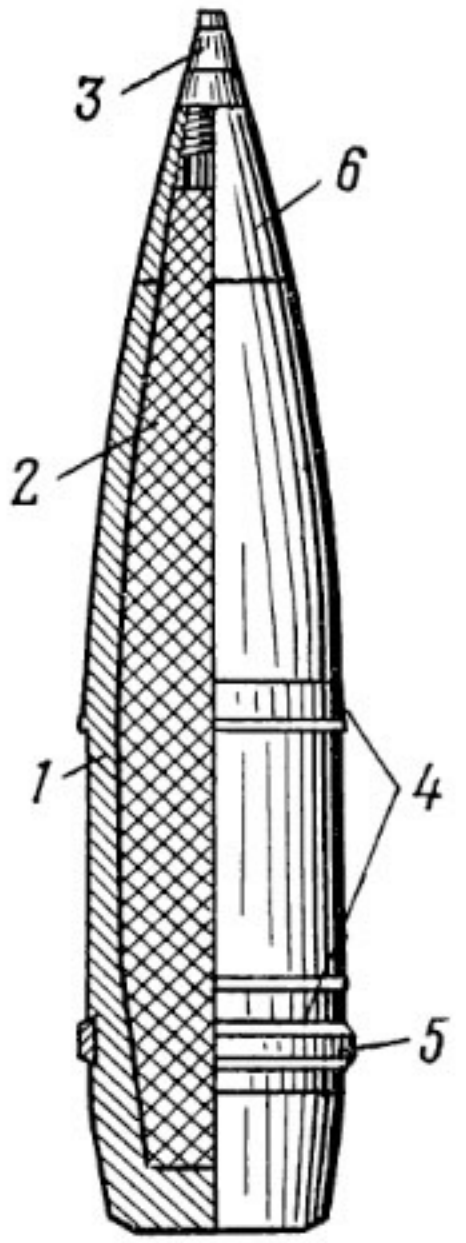


Рис. 6.7. Осколочно-фугасный снаряд:

1 — оболочка; *2* — разрывной заряд; *3* — взрыватель; *4* — центрующие утолщения; *5* — ведущий поясок; *6* — привинтная головка

Характеристиками осколочного действия снаряда могут быть число образовавшихся осколков N и убойный интервал $R_{\text{уб}}$. Под убойным интервалом понимается путь осколка, на котором он является убойным. Важное значение, кроме того, имеет распределение осколков в пространстве, которое характеризуется величиной площади зоны поражения $S_{\text{пор}}$.

В табл. 6.3 дано число осколков для снарядов разного калибра.

Таблица 6.3

Калибр снаряда, мм	Число осколков		
	массой 1 г и более	массой 4 г и более	приходящихся на 1 кг металла при массе 4 г и более
100	900—1200	450—550	45—50
122	1000—1500	600—850	35—40
152	1800—2200	900—1300	30—40

Распределение осколков по группам показано в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Пределы изменения массы осколков, г	1—2	2—4	4—8	8—20	20—100	Свыше 100
Число осколков, %	25	21	20	18	11	5

Для определения числа осколков, их массы и формы снаряды подрывают в бронеяме в песке, а осколки собирают.

Для расчета числа осколков можно пользоваться формулой Юстрова

$$N = \beta \frac{\omega_{ВВ}}{d} \cdot \frac{\sigma_{пц}}{\sigma_B \delta} \cdot \frac{\varkappa^2 + 0{,}5}{\varkappa^2 - 1}, \qquad (6.15)$$

где β — коэффициент, зависящий от свойств ВВ: для тротила — 46, для аммотола — 30;

$\omega_{ВВ}$ — масса разрывного заряда, г;

d — калибр снаряда, см;

$\sigma_{пц}$ и σ_B — предел упругости (пропорциональности) и временное сопротивление металла, Н/м²;

δ — относительное удлинение, %;

$\varkappa$ — коэффициент, зависящий от соотношения масс заряда и снаряда (при $\alpha_{ВВ} = 7\%$ $\varkappa = 1{,}8$, а при $\alpha_{ВВ} = 15\%$ $\varkappa = 1{,}4$).

Формула (6.15) показывает, что число осколков увеличивается с увеличением калибра снаряда, мощности ВВ, коэффициента наполнения снаряда и с уменьшением прочности и вязкости металла оболочки. Очевидно, число осколков существенно зависит от конструкции снаряда. Для получения осколков, заданных по массе и форме, иногда на поверхности оболочки внутри или снаружи наносят сетку углублений (насечку).

Распределение осколков в пространстве зависит от конструкции и формы снаряда и от условий встречи снаряда с целью. Можно считать, что в статических условиях осколки разлетаются приблизительно по нормали к наружной поверхности снаряда (рис. 6.8). Поскольку значительная часть поверхности снаряда является цилиндрической, то основной поток осколков (до 80%) направлен перпендикулярно оси снаряда, остальные направлены вдоль оси приблизительно по 10% от головной и донной частей снаряда. В полете относительная скорость осколков складывается с переносной скоростью — скоростью снаряда в момент разрыва v_c, поэтому по отношению к статическим условиям траектории осколков будут отклонены в сторону движения снаряда на некоторый угол.

Убойный интервал может быть найден по эмпирической формуле

$$R_{уб} = 65{,}6 \sqrt[3]{q_{оск}}\, l_g \left(\frac{v_{оск}}{v_{уб}} \right), \qquad (6.16)$$

где $v_{уб}$ — скорость, при которой цель поражается;
$q_{оск}$ — масса осколка, г.

Среди условий встречи снаряда с целью основную роль играет положение снаряда в момент разрыва относительно цели, определяемое координатами точки разрыва относительно цели и углом между касательной к траектории (осью снаряда) и горизонтом. Наиболее выгодным будет такое положение снаряда, при котором основной пучок осколков направлен к цели.

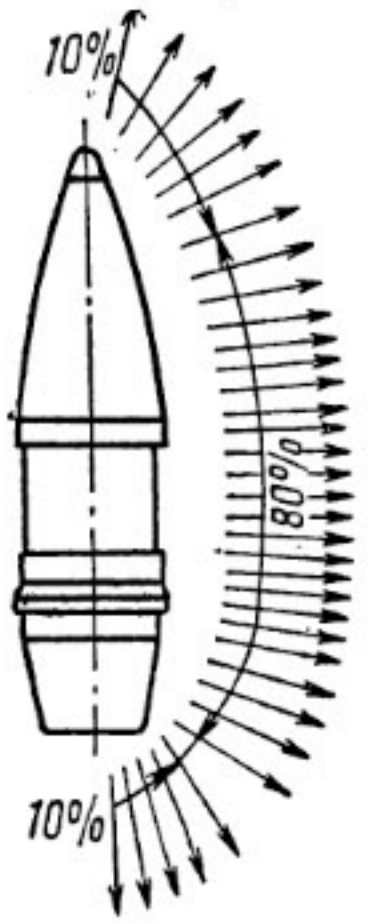


Рис. 6.8. Схема разлета осколков

При ударной стрельбе при малых углах падения зона поражения осколками наземных целей будет иметь вид узкой полосы, расположенной перпендикулярно плоскости стрельбы. Эффективность осколочного действия при этом будет невысокой. С увеличением угла падения площадь зоны поражения растет, а при встрече снаряда по нормали с поверхностью земли разлет осколков будет происходить вдоль поверхности земли, что является выгодным для поражения неукрытой живой силы. Для поражения живой силы, укрытой в траншеях и за обратными скатами возвышенностей, более эффективной будет стрельба на рикошетах в первом случае и дистанционная стрельба во втором. Существует оптимальная высота разрыва снаряда для каждого конкретного случая. При стрельбе на рикошетах она лежит в пределах 3—6 м, а при дистанционной стрельбе равна 10—12 м.

На эффективность осколочного действия снаряда влияют время действия и однообразие действия взрывателя. При низкой чувствительности взрывателя произойдет значительное углубление снаряда в преграду, что снизит осколочное действие. Так, при ударной стрельбе 122-мм осколочно-фугасным снарядом по твердому грунту поражаемая осколками площадь равна площади прямоугольника со сторонами: по фронту 40 м и в глубину 8 м. При этом глубина воронки будет 15—25 см. При глубине же воронки 50 см осколочное действие снаряда (поражаемая площадь) уменьшится вдвое.

При дистанционной стрельбе за счет разброса времени действия взрывателя будет происходить значительное отклонение точек разрыва от точки с оптимальной высотой разрыва. В результате эффективность осколочного действия будет значительно снижена, особенно за счет высоких разрывов. Для стабилизации высоты разрывов применяются неконтактные радиовзрыватели.

Таким образом, хорошее осколочное действие снарядов достигается, во-первых, путем рационального устройства снаряда: правильным выбором типа ВВ и металла оболочки, соотношения между массой разрывного заряда и массой оболочки, а также обеспечением оптимального дробления оболочки на осколки; во-вторых, за счет применения высокочувствительных и стабильных в действии взрывателей; в-третьих, путем отыскания в каждом конкретном случае оптимальных условий стрельбы.

§ 6.4. ФУГАСНОЕ ДЕЙСТВИЕ СНАРЯДОВ

Фугасное действие снарядов заключается в смещении и разрушении оборонительных сооружений, построек и боевой техники за счет энергии взрыва.

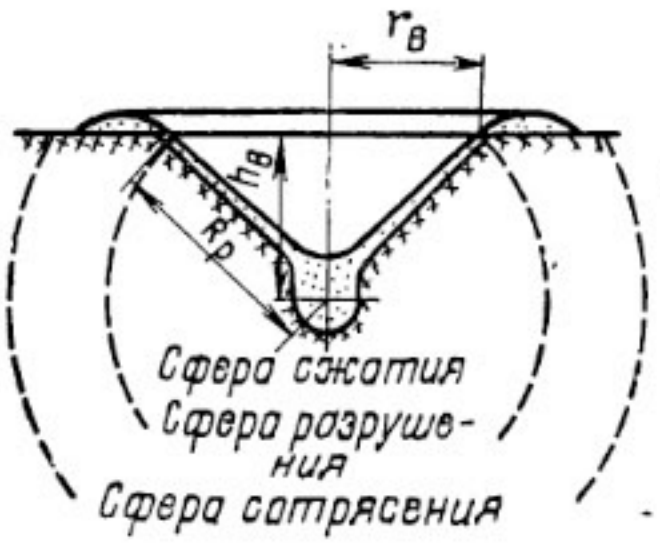


Рис. 6.9. Схема воронки

Для получения наибольшего фугасного действия к моменту взрыва снаряд должен проникнуть на некоторую оптимальную глубину в преграду. Поэтому фугасному действию предшествует ударное действие снаряда.

Фугасное действие является основным для фугасных, бетонобойных и осколочно-фугасных снарядов при установке взрывателя на фугасное действие. Для кумулятивных, осколочных и каморных бронебойных снарядов оно будет дополнительным.

Поражающими факторами фугасного действия снаряда являются ударная волна и продукты взрыва, которые распространяются в среде во все стороны от точки взрыва.

При расширении сильно сжатых и нагретых продуктов взрыва они устремляются в сторону наименьшего сопротивления среды — к поверхности преграды. В результате часть среды (грунта) выбрасывается на поверхность и образуется конусообразная воронка (рис. 6.9), размеры которой характеризуются глубиной $h_в$ и радиусом $r_в$. Если радиус воронки равен глубине, то такая воронка называется нормальной, если радиус будет больше глубины, воронку называют мелкой, а в противном случае — глубокой.

Вокруг точки разрыва снаряда в грунте различают три зоны: сферу сжатия, сферу разрушения, сферу сотрясения. В сфере сжатия с радиусом в несколько калибров снаряда грунт сдвигается и уплотняется. В сфере разрушения, имеющей радиус $R_р$, распространяется сильная ударная волна, которая нарушает связи между частицами грунта, приводит к образованию трещин в грунте и к разрушению оборонительных сооружений. В сфере сотрясения ударная волна будет ослабленной и вызовет только колебательное движение частиц грунта без разрушения прочных сооружений.

За характеристики фугасного действия принимают радиус разрушения $R_р$ и объем выбрасываемого грунта или объем ворон-

ки $W_в$. Для определения радиуса разрушения $R_р$ (в м) существует эмпирическая формула

$$R_р = k_р \sqrt[3]{\omega_{вв}}, \qquad (6.17)$$

где $k_р$ — коэффициент, зависящий от свойств среды;

$\omega_{вв}$ — масса разрывного заряда, кг.

Значения коэффициента $k_р$ приведены в табл. 6.2. Сравнивая коэффициенты $k_п$ и $k_р$, можно сделать вывод, что свойства среды значительно меньше сказываются на фугасном действии снаряда, чем на осколочном действии.

Формула (6.17) показывает, что радиус разрушения увеличивается с увеличением веса разрывного заряда и, следовательно, для снарядов одного типа с увеличением калибра. Далее радиус разрушения уменьшается с ростом прочности среды.

Для 122-мм и 152-мм осколочно-фугасных снарядов радиус разрушения в грунте средней прочности соответственно равен 1,65 и 2,03 м.

Объем воронки зависит от массы разрывного заряда и углубления снаряда в момент взрыва. В среднем можно считать, что на каждый килограмм взрывчатого вещества приходится 1,2—1,5 м³ объема воронки.

С увеличением углубления снаряда воронка становится глубокой, а ее объем уменьшается. При достаточно большом углублении произойдет камуфлет, т. е. подземный взрыв без образования воронки.

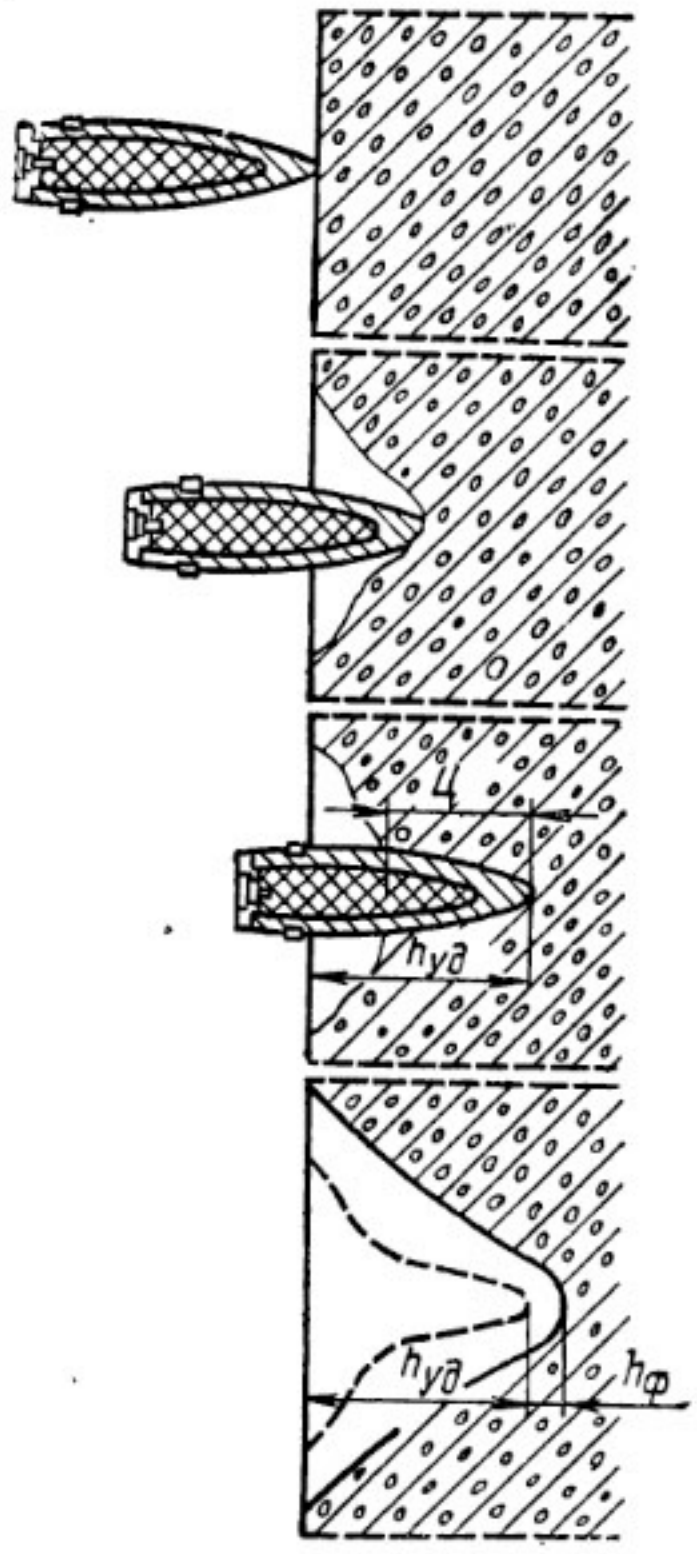


Рис. 6.10. Схема действия бетонобойного снаряда

Разрыв снаряда на оптимальной глубине обеспечивается взрывателем, время действия которого должно быть вполне определенным.

Фугасное действие бетонобойных снарядов отличается от фугасного действия фугасных и осколочно-фугасных снарядов тем, что к моменту взрыва снаряд углубляется в преграду только частично (рис. 6.10). За характеристику фугасного действия в этом случае принимают величину $h_ф$ (в м), равную приращению глубины воронки, образованной при ударном действии, и определяемую с помощью эмпирической формулы

$$h_ф = k_р \sqrt[3]{\omega_{вв}} - Ц, \qquad (6.18)$$

где $Ц$ — расстояние от центра тяжести разрывного заряда до дна воронки в момент взрыва, м.

Формула (6.18) по своей структуре аналогична формуле (6.17). Величина $Ц$ учитывает то обстоятельство, что при открытом взрыве фугасное действие ослабляется и тем в большей степени, чем дальше отстоит центр тяжести разрывного заряда от разрушаемой поверхности. Коэффициент $k_р$ равен для бетона 0,20—0,15, а для железобетона — 0,12, т. е. будет меньше, чем для фугасных и осколочно-фугасных снарядов.

Суммарное действие бетонобойного снаряда характеризуется общей глубиной воронки $h_б$

$$h_б = h_{уд} + h_ф, \qquad (6.19)$$

в которой величина $h_{уд}$ определяется по Березанской формуле.

§ 6.5. ДЕЙСТВИЕ КУМУЛЯТИВНЫХ СНАРЯДОВ

В основе действия кумулятивных снарядов лежит кумулятивный эффект, открытый еще в 1864 г. генералом русской армии М. М. Боресковым. Кумулятивные снаряды (рис. 6.11) были разработаны в 30-х годах как средство борьбы с танками, имеющими мощную броню, с помощью орудий, имеющих относительно невысокую начальную скорость снаряда.

Существо кумулятивного эффекта заключается в следующем. При подрыве разрывного заряда начинаются процесс взрывчатого превращения и распространение во взрывчатом веществе волны детонации со скоростью детонации. На фронте этой волны практически мгновенно образуются продукты детонации, которые получают скорость поступательного движения, в три-четыре раза меньшую скорости детонации. При достижении волной детонации поверхности заряда продукты детонации начнут распространяться в пространстве приблизительно перпендикулярно поверхности. Если поверхность заряда покрыта оболочкой, то под действием высоких давлений, равных сотням тысяч атмосфер, материал оболочки становится похожим на несжимаемую жидкость, а частицы будут перемещаться вместе с продуктами детонации. Поскольку плотность оболочки значительно выше плотности ВВ, то плотность потока соответственно возрастает.

Для получения кумулятивного эффекта в разрывном заряде вдоль его оси делается кумулятивная выемка конической, полусферической или более сложной формы, покрытая металлической облицовкой (воронкой), а подрыв заряда осуществляется с противоположной стороны (рис. 6.12).

Продукты взрыва с поверхности воронки устремляются к оси, где соударяются, образуя кумулятивную струю небольшого диаметра (5—10 мм), направленную вдоль оси. Кумулятивная струя состоит в основном из частиц материала облицовки, имеет плотность, близкую к плотности этого материала, температуру, не превышающую 1000° К, и скорость вдоль оси, достигающую 10 км/с.

К концу формирования кумулятивная струя имеет длину $l_{кс}$ и наилучшие пробивные возможности. Далее струя постепенно растягивается и разрушается. Основная часть металла воронки (до

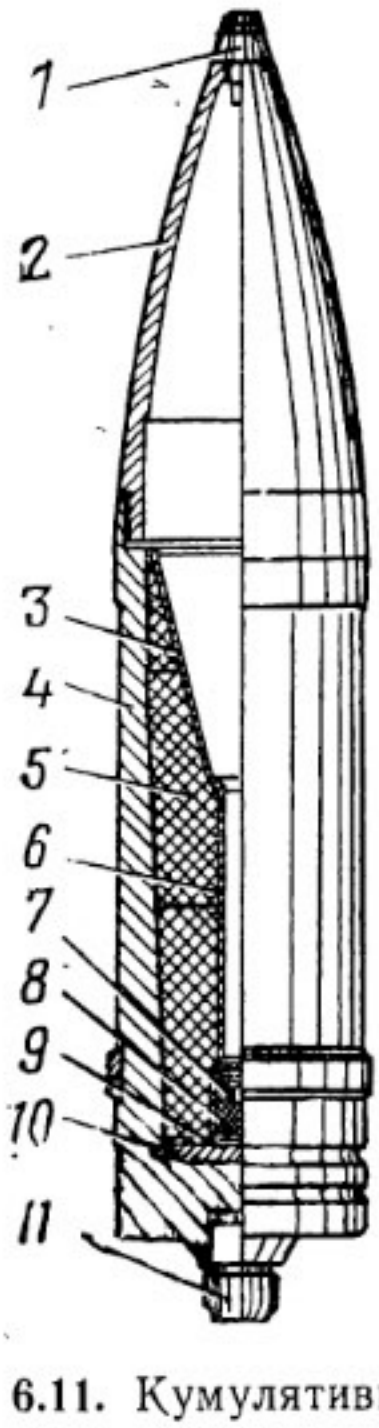


Рис. 6.11. Кумулятивный снаряд:

1 — взрыватель; *2* — головка; *3* — облицовка кумулятивной воронки; *4* — корпус; *5* — разрывной заряд; *6* — центральная трубка; *7* — капсюль-детонатор; *8* — детонатор; *9* — мастика; *10* — деревянный вкладыш; *11* — трассер

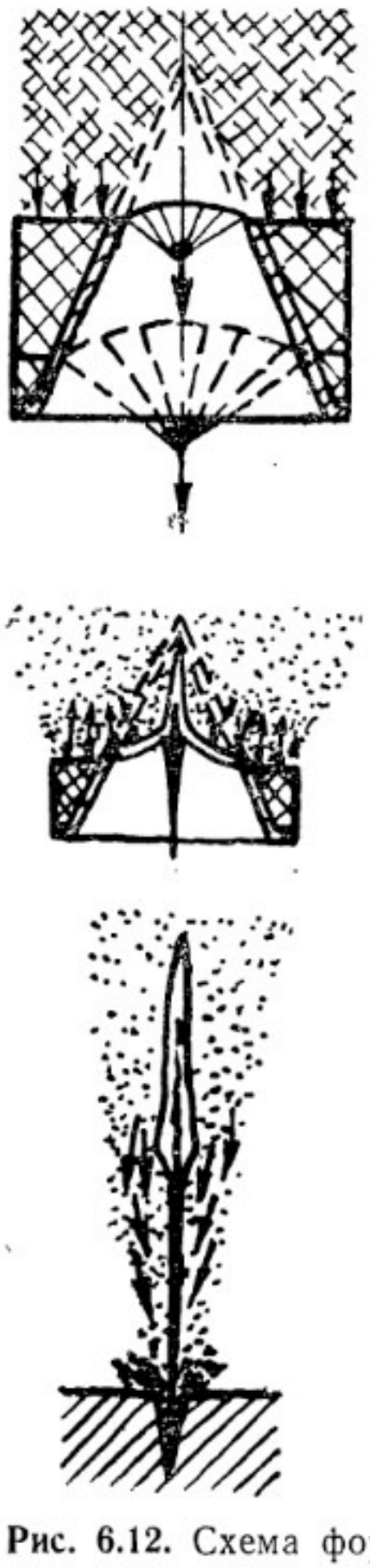


Рис. 6.12. Схема формирования кумулятивной струи

75%) не входит в состав кумулятивной струи, а образует так называемый пест, который перемещается за кумулятивной струей с относительно небольшой скоростью.

Таким образом, кумулятивный эффект заключается в кумуляции (концентрации) продуктов детонации и частиц материала

облицовки по оси выемки с образованием кумулятивной струи, обладающей космической скоростью. Кумулятивная струя пробивает броню, являясь, таким образом, поражающим фактором. Пест и другие элементы снаряда остаются перед броней.

При встрече кумулятивной струи с броней происходит удар, сопровождающийся потерей механических качеств материалом преграды. Кумулятивная струя и преграда взаимодействуют, как струя несжимаемой жидкости с жидкой средой. При пробитии брони ее материал последовательно вымывается все новыми и новыми участками кумулятивной струи. Образуется сначала конический кратер, а затем сквозное отверстие. Часть вещества кумулятивной струи, частицы преграды и газообразные продукты детонации проникают через отверстие, вызывая поражение живой силы, вооружения и приборов за преградой — в танке или самоходной артиллерийской установке. Обычно для кумулятивных снарядов применяются головные взрыватели. Для передачи взрывного импульса от взрывателя к капсюлю-детонатору с детонатором, которые расположены у дна снаряда, в разрывном заряде по оси его имеется цилиндрическое отверстие с центральной трубкой. Разрывной заряд вместе со всеми деталями называется кумулятивным узлом.

Характеристикой действия кумулятивного снаряда, как и действия бронебойных снарядов, является наибольшая толщина пробиваемой по нормали преграды b^*. Для определения этой характеристики можно пользоваться формулой академика Лаврентьева

$$b^* = l_{кс} \sqrt{\frac{\delta_{кс}}{\delta_п}}, \qquad (6.20)$$

где $l_{кс}$ — длина кумулятивной струи;
$\delta_{кс}$ — плотность кумулятивной струи;
$\delta_п$ — плотность материала преграды.

Как отмечалось выше, плотность вещества струи близка к плотности материала облицовки кумулятивной выемки. Для вращающихся кумулятивных снарядов плотность струи будет зависеть от скорости вращения снаряда, поскольку кумулятивная струя будет вращаться со скоростью, значительно большей скорости вращения снаряда, и будет подвержена действию центробежных сил. С увеличением скорости вращения снаряда при прочих равных условиях плотность струи будет меньше.

Длина кумулятивной струи существенно зависит от формы и площади поверхности кумулятивной выемки. С увеличением калибра снаряда, очевидно, длина кумулятивной струи увеличивается.

Из формулы (6.20) следует, что эффективность действия кумулятивного снаряда зависит от калибра снаряда, мощности ВВ, устройства кумулятивного узла, способа стабилизации снаряда, свойств преграды. Следует отметить, что действие кумулятивного снаряда практически не зависит от его окончательной скорости.

Толщина пробиваемой брони, как обычно, зависит от угла встречи:

$$b = b^* \cos \alpha. \tag{6.21}$$

Замечательным качеством кумулятивных снарядов является отсутствие рикошета кумулятивной струи при больших углах встречи. Оперенные кумулятивные снаряды обладают более высокой бронепробиваемостью, чем вращающиеся кумулятивные снаряды. Толщина пробиваемой брони для современных кумулятивных снарядов достигает 300 мм и более.

Эффективность действия кумулятивных снарядов в большей степени, чем ударного, осколочного и фугасного действия, зависит от действия взрывателя. Это объясняется, с одной стороны, высокими скоростями кумулятивной струи, а с другой — относительно малой ее устойчивостью.

Головные взрыватели, предназначенные для кумулятивных снарядов, должны обладать высокой чувствительностью, быстродействием и однообразием действия. Устройство взрывателя и головной части снаряда должно обеспечить при заданной окончательной скорости v_c встречу кумулятивной струи с поверхностью преграды в момент завершения ее формирования. Расстояние между основанием кумулятивной выемки и поверхностью преграды в этот момент называется фокусным расстоянием F. Считая, что процесс передачи взрывного импульса от взрывателя к детонатору кумулятивного узла и процесс образования кумулятивной струи мгновенны, можем определить наивыгоднейшую длину головной части снаряда $L_г$:

$$L_г = F + v_c t_{взр}, \tag{6.22}$$

где $t_{взр}$ — время действия взрывателя.

Действительное расстояние x между поверхностью преграды и основанием кумулятивной выемки будет отличаться от фокусного расстояния F:

$$x = L_г - v_c t_{взр}. \tag{6.23}$$

При изменении величин v_c и $t_{взр}$ расстояние x будет изменяться согласно равенству, полученному на основании формулы (6.23):

$$\frac{\delta x}{x} = \frac{m}{1 - m}\left(\frac{\delta v_c}{v_c} + \frac{\delta t_{взр}}{t_{взр}}\right), \tag{6.24}$$

где $m = \frac{F}{L_г}$.

Как следует из равенства (6.24), изменение окончательной скорости снаряда и времени действия взрывателя одинаковым образом сказывается на эффективности действия кумулятивного снаряда, ухудшая ее. Вот почему приходится заботиться не только об обеспечении оптимального времени действия взрывателя, но и о сохранении оптимальной окончательной скорости снаряда. Стрель-

ба кумулятивными снарядами должна вестись только на том заряде, который указан в таблицах стрельбы.

Если взрыватель срабатывает раньше, чем это предусмотрено, то кумулятивная струя к моменту встречи с преградой будет ослаблена, что приведет к снижению эффективности действия кумулятивного снаряда. Именно на это рассчитано применение экранированной брони, перед которой на некотором расстоянии устанавливается экран, например в виде металлической сетки, вызывающий преждевременное действие взрывателя.

Таким образом, кумулятивные снаряды при относительной простоте их устройства и изготовления обладают хорошим бронебойным действием при стрельбе из орудий, имеющих невысокие начальные скорости. В этом состоит их основное преимущество. К недостаткам кумулятивных снарядов относятся ограниченные дальности стрельбы и возможность слабого действия по экранированной броне.

Улучшение действия кумулятивных снарядов достигается за счет совершенствования конструкции кумулятивного узла, применения оперенных снарядов, улучшения конструкции взрывателей и повышения дальности и кучности стрельбы.

§ 6.6. ДЕЙСТВИЕ СНАРЯДОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Зажигательные снаряды (рис. 6.13) предназначены для дистанционной или ударной стрельбы в целях создания очагов пожара в местах сосредоточения живой силы и боевой техники противника.

Принцип действия зажигательного снаряда состоит в следующем. В момент встречи с целью при дистанционной стрельбе через установленное время дистанционного действия срабатывает головная дистанционная трубка, создающая тепловой импульс. Этот импульс по каналу вдоль оси снаряда передается к вышибному заряду из дымного ружейного пороха, который находится в донной части и отделен стальной диафрагмой.

Зажигательный состав, находящийся в зажигательных элементах, и вышибной заряд воспламеняются. Пороховые газы, образующиеся при горении вышибного заряда, давят на диафрагму, в результате чего происходит срезание резьбы или шпилек, которыми крепится головка снаряда к корпусу, и зажигательные элементы выбрасываются вперед.

Горящие зажигательные элементы после их вылета из корпуса снаряда летят к цели, при встрече с которой воздействуют на нее пламенем или раскаленными твердыми продуктами горения, воспламеняя горючие материалы и поддерживая горение их.

Эффективность действия зажигательных снарядов зависит от типа и количества зажигательного состава, свойств цели и условий встречи снаряда с целью. В настоящее время наиболее распространены зажигательные артиллерийские снаряды на основе термита, при горении которого развивается температура до 3000° С.

Время горения зажигательного элемента 10—20 с. Наибольшее действие зажигательные снаряды производят по деревянным постройкам, складам горючих материалов и боеприпасов, местам скопления транспорта и цистерн с горючим, сухим лесным и степным массивам, занятым противником.

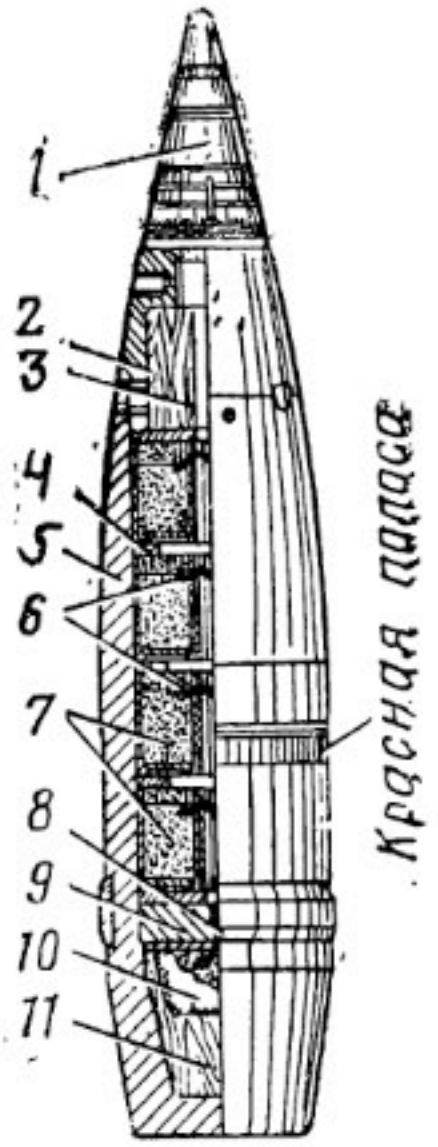


Рис. 6.13. Зажигательный снаряд:

1 — дистанционно - ударная трубка; *2* — привинтная головка; *3* — деревянный вкладыш; *4* — прокладки; *5* — корпус; *6* — стопин; *7* — зажигательные элементы (сегменты); *8* — замедлитель; *9* — диафрагма; *10* — вышибной заряд; *11* — деревянный вкладыш

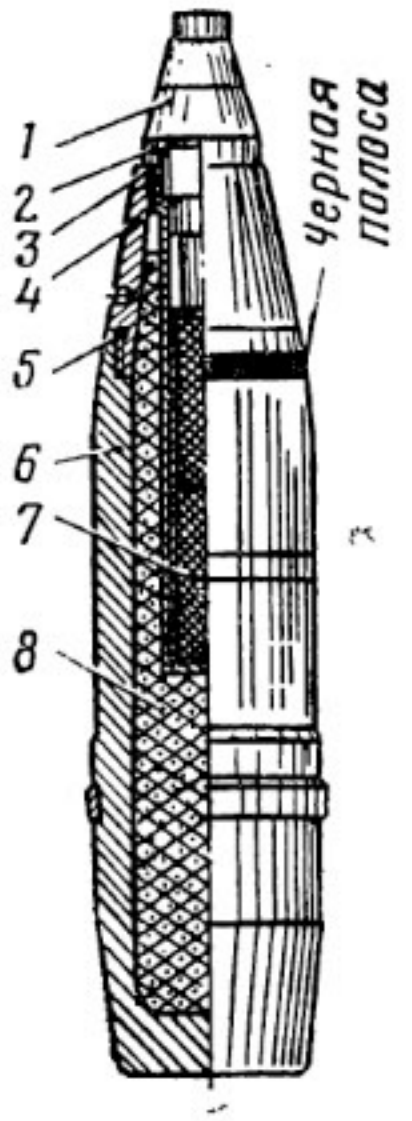


Рис. 6.14. Дымовой снаряд ударного действия:

1 — взрыватель; *2* — запальный стакан; *3*, *5* — кольцевые прокладки; *4* — головка; *6* — корпус; *7* — разрывной заряд; *8* — дымообразующее вещество

Дымовые снаряды (рис. 6.14) предназначаются для ударной или дистанционной стрельбы в целях постановки дымовых завес, целеуказания и пристрелки. Дымовые снаряды, предназначенные для целеуказания и пристрелки, имеют некоторые особенности устройства и называются пристрелочно-целеуказательными.

Действие дымового снаряда состоит в раздроблении и распылении дымообразующего состава при встрече с целью и в последующих физико-химических процессах, приводящих к образованию облака дыма. Для обеспечения раздробления и распыления дымообразующего вещества в снаряде имеется разрывной заряд из бризантного взрывчатого вещества, масса которого достигает 2% массы снаряда. Размеры облака дыма достигают 25—40 м в поперечнике, а время действия — 20—40 с.

Эффективность действия дымовых снарядов зависит от типа и количества дымообразующего вещества, конструкции снаряда и

взрывателя, состояния атмосферы и условий стрельбы. В настоящее время наиболее широко применяются дымовые снаряды с использованием фосфора в качестве дымообразующего вещества. Его преимущество состоит в том, что образующееся облако дыма более чем на 80% состоит из химических элементов атмосферы.

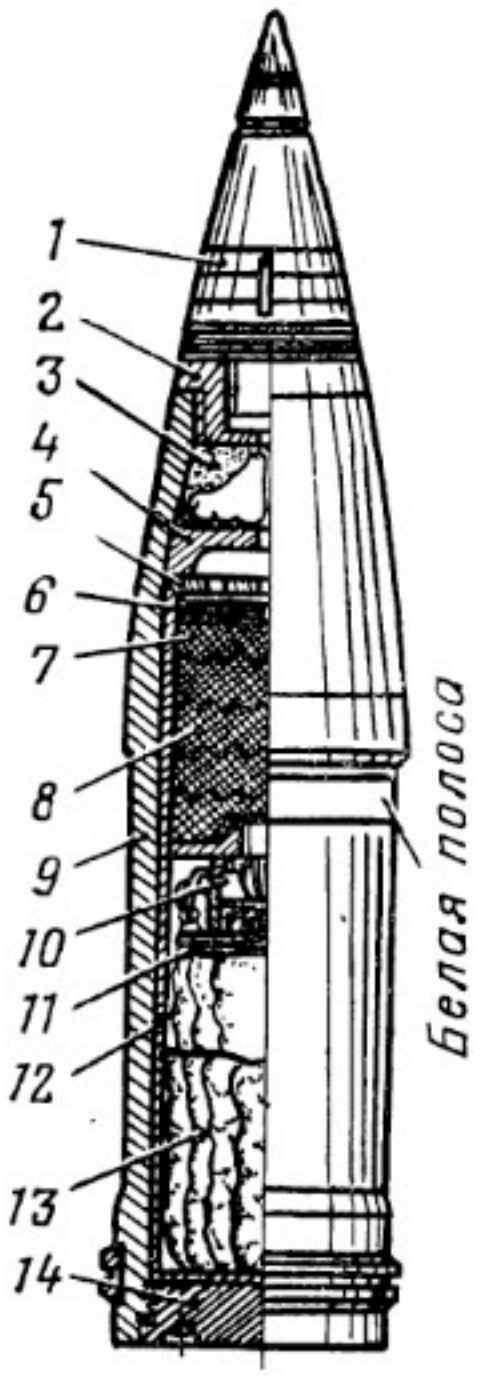


Рис. 6.15. Осветительный снаряд:

1 — дистанционно - ударная трубка; *2* — головка; *3* — вышибной заряд; *4* — диафрагма; *5* — крышка; *6* — стакан; *7* — воспламенительный состав; *8* — осветительный состав; *9* — корпус (оболочка); *10* — вертлюг; *11* — стропы парашюта; *12* — стальной полуцилиндр; *13* — парашют; *14* — дно

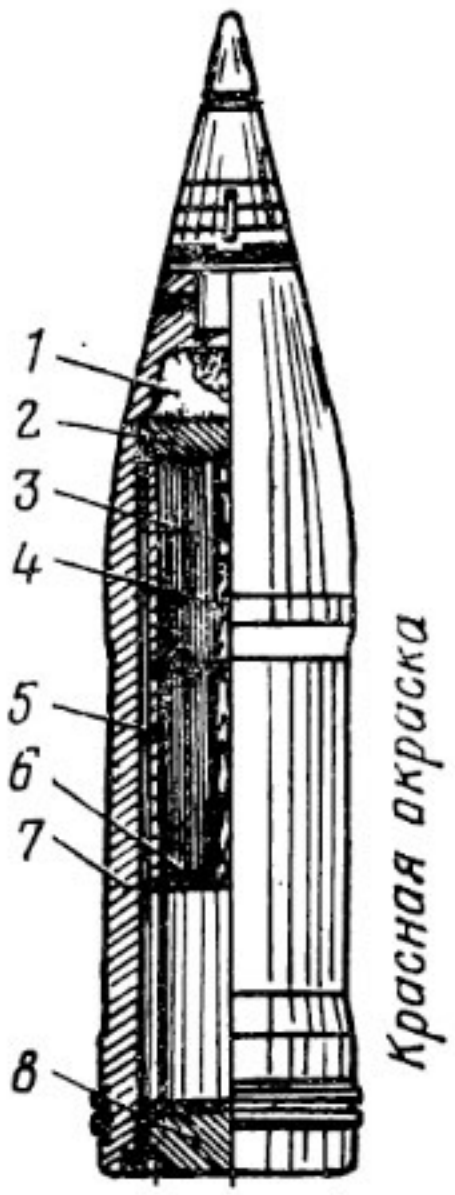


Рис. 6.16. Агитационный снаряд:

1 — вышибной заряд; *2* — диафрагма; *3* — листовки; *4* — деревянный валик; *5* — стальной полуцилиндр; *6* — стальная прокладка; *7* — корпус (оболочка); *8* — дно

Влажность атмосферы и ветер особенно заметно сказываются на действии дымовых снарядов. При скорости ветра более 5 м/с облако быстро рассеивается, а при скорости ветра 8—10 м/с постановка дымовой завесы практически невозможна. Повышенная влажность благоприятно отражается на процессе дымообразования.

По условиям стрельбы следует отметить, что благоприятными условиями являются твердый грунт и густая растительность в месте падения снарядов, слабый ветер, сырая погода, пасмурное небо, отсутствие восходящих токов воздуха. Особое внимание сле-

дует обращать на направление ветра, учитывая влияние его на перемещение облака дыма.

Осветительные снаряды (рис. 6.15) предназначены для освещения ночью местности, занятой противником, в целях обеспечения наблюдения за действиями противника и за результатами стрельбы, а также для вывода из строя приборов ночного видения и т. п. В настоящее время применяются осветительные снаряды исключительно дистанционного действия парашютного типа.

Действие такого снаряда состоит в том, что в заданной точке траектории по команде от дистанционной трубки срабатывает вышибной заряд, пороховые газы которого воспламеняют осветительный состав и выталкивают факел вместе с парашютной системой из корпуса снаряда назад. Под напором воздуха парашют раскрывается и быстро гасит скорость факела до величины, при которой сила сопротивления воздуха будет равна силе веса факела. После этого начинается вертикальный спуск звездки со скоростью 5—15 м/с и местность освещается.

Время горения факела определяется скоростью горения осветительного состава и высотой факела и равно 30—60 с.

122-мм гаубичный осветительный снаряд при высоте разрыва 500 м освещает на местности круговую площадь диаметром 1000 м.

Эффективность действия осветительного снаряда зависит от конструкции снаряда, точности действия трубки и условий стрельбы.

Среди условий стрельбы следует учитывать ветер и окончательную скорость снаряда. После раскрытия парашюта факел будет перемещаться вместе с атмосферой горизонтально по направлению и со скоростью горизонтального ветра на данной высоте. Окончательная скорость снаряда по условиям прочности парашютной системы не должна превышать заданной величины. При однофазном раскрытии парашюта она равна 230—250 м/с.

Агитационные снаряды (рис. 6.16) предназначаются для доставки агитационных листовок и разбрасывания их в расположении противника. Листовки определенного размера, например 101×144 мм, навертываются на деревянные валики в виде рулонов с диаметром, равным внутреннему диаметру оболочки снаряда. Рулоны должны вставляться в оболочку так, чтобы направления навертывания листовок и вращения снаряда совпадали.

Действие агитационного снаряда заключается в выталкивании пороховыми газами вышибного заряда назад из оболочки снаряда рулонов, с которых вследствие их вращения будут развертываться и разлетаться листовки. Оптимальная высота разрыва снаряда 100—150 м. При этом 122-мм агитационный снаряд обеспечивает рассеивание листовок на площади шириной до 50 м и длиной до 600 м.

Сильный ветер, дождь и туман снижают эффективность действия агитационных снарядов.

ГЛАВА 7

ВЗРЫВАТЕЛИ

Взрывателем называется элемент выстрела, предназначенный для приведения в действие снаряда в заданной точке траектории или в заданный момент времени. Действие снаряда происходит в результате сообщения разрывному или вышибному заряду соответственно взрывного или теплового начального импульса, который создается в огневой цепи взрывателя. Если начальный импульс является тепловым, то взрыватель называется трубкой.

По назначению взрыватели подразделяются на артиллерийские, минные и реактивные. По виду действия у цели взрыватели могут быть ударного, дистанционного, неконтактного и комбинированного действия. По месту расположения на снаряде взрыватели бывают головные, донные и голово-донные.

По степени безопасности в служебном обращении и при выстреле взрыватели подразделяются на взрыватели предохранительного, полупредохранительного и непредохранительного типов.

Перевод взрывателя из служебного состояния в боевое называется взведением взрывателя, которое происходит при выстреле. По месту взведения взрыватели подразделяются на взводящиеся в канале ствола, за дульным срезом и на некотором удалении от орудия (с дальним взведением).

К взрывателям предъявляются следующие основные требования: безопасность в обращении и при выстреле, надежная взводимость, безотказность и точность действия у цели, стойкость при хранении.

Взрыватель состоит из корпуса, элементов огневой цепи, механизмов и устройств, обеспечивающих его безопасность, действие и другие свойства.

§ 7.1. УДАРНЫЕ ВЗРЫВАТЕЛИ

Ударным взрывателем называется взрыватель, действующий при ударе снаряда о преграду. Ударные взрыватели могут быть механическими и электрическими.

Огневая цепь ударных взрывателей состоит из следующих элементов: капсюля-воспламенителя (КВ), замедлителя, усилителя, капсюля-детонатора (КД), передаточного заряда и детонатора.

Ударный взрыватель может иметь следующие механизмы и устройства.

Ударный механизм предназначен для приведения в действие огневой цепи взрывателя при ударе о преграду под действием сил реакции или инерции. В соответствии с этим ударные механизмы могут быть реакционные (мгновенного действия, рис. 7.1), инерционные (рис. 7.2) и двойного действия (инерционно-реакционные). Основной частью ударного механизма является ударник, который, перемещаясь, накалывает жалом капсюль или сжимает воздух, воспламеняющий капсюль, или приводит в действие электрогенератор.

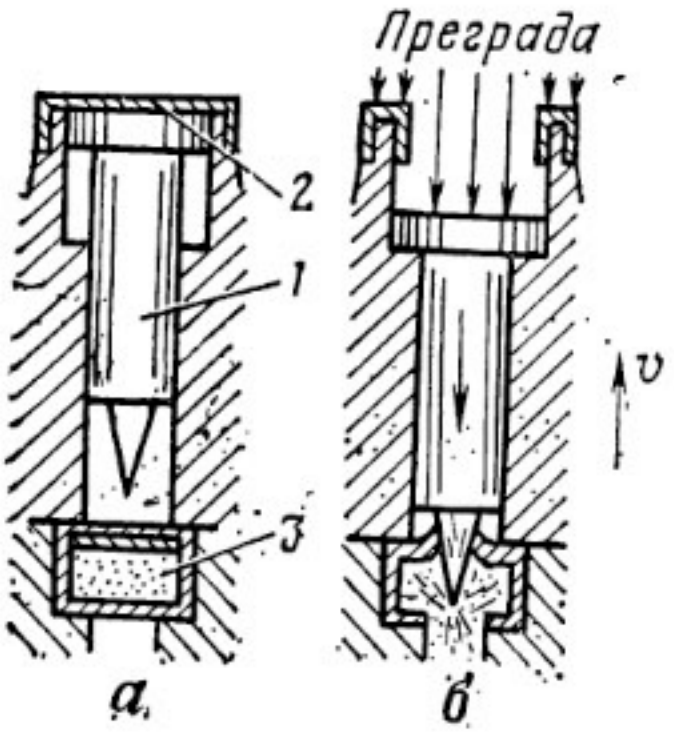


Рис. 7.1. Ударный механизм мгновенного действия:

а — до удара снаряда о преграду; *б* — при ударе снаряда о преграду; *1* — реакционный ударник; *2* — мембрана; *3* — капсюль

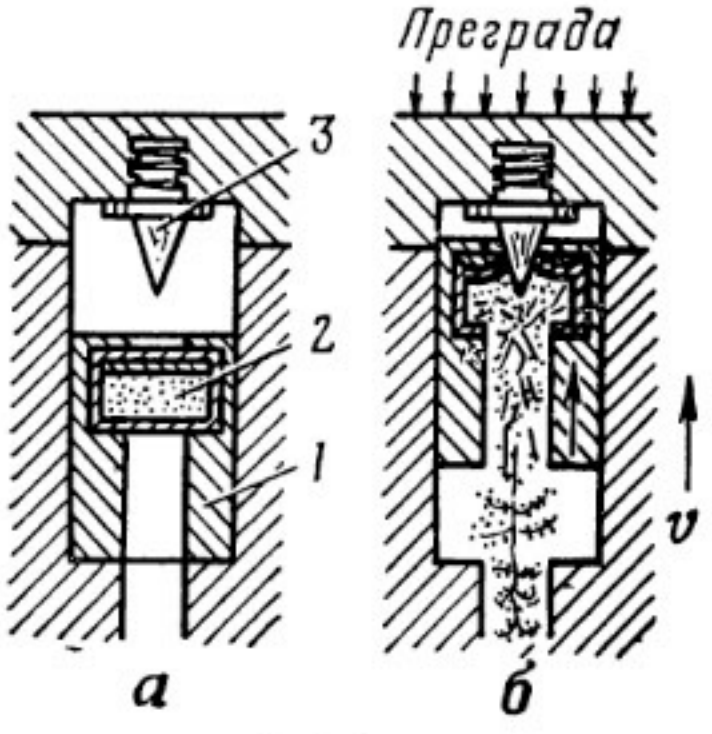


Рис. 7.2. Ударный механизм инерционного действия:

а — до удара снаряда о преграду; *б* — при ударе снаряда о преграду; *1* — инерционный ударник; *2* — капсюль; *3* — жало

Бокобойное устройство обеспечивает надежное действие ударного механизма при небольших углах падения и состоит из инерционной или реакционной шайбы, связанной с ударником.

Предохранительный механизм предназначен для удержания в служебном обращении и при движении снаряда до заданного момента времени подвижной детали в исходном положении, при котором действие взрывателя исключается. Во взрывателе предохранительных механизмов может быть несколько. При выстреле предохранительные механизмы должны сработать. В каждом предохранительном механизме независимо от его устройства имеется деталь, которая называется предохранителем. Предохранители бывают жесткие в виде чеки, разрезного упругого кольца или колпачка с лапками (рис. 7.3) и пружинные в виде винтовых или кольцевых пружин (рис. 7.4). В качестве предохранителя может применяться также столбик спрессованного дымного пороха.

Замедлительное устройство обеспечивает замедленное действие взрывателя с постоянным или авторегулируемым временем замедления.

Замедлительное устройство с постоянным временем замедления представляет собой латунную втулку с продольным каналом, перекрытым столбиком спрессованного дымного пороха. Замедли-

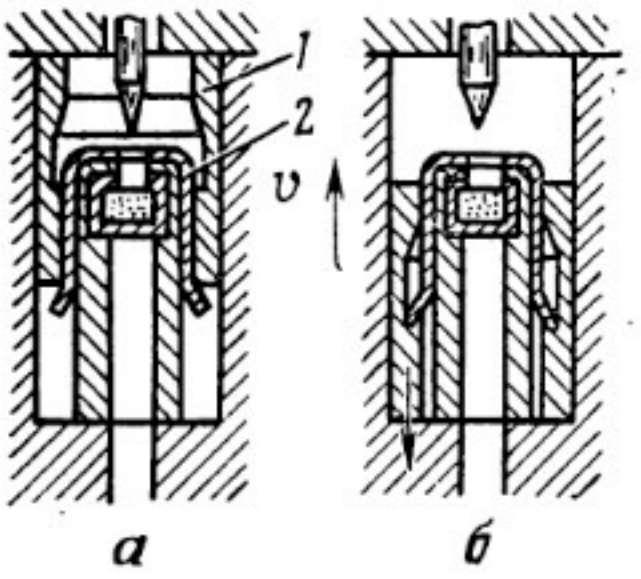


Рис. 7.3. Инерционный предохранительный механизм с жестким предохранителем:

а — до выстрела; *б* — после выстрела; *1* — инерционный цилиндр; *2* — жесткий предохранитель

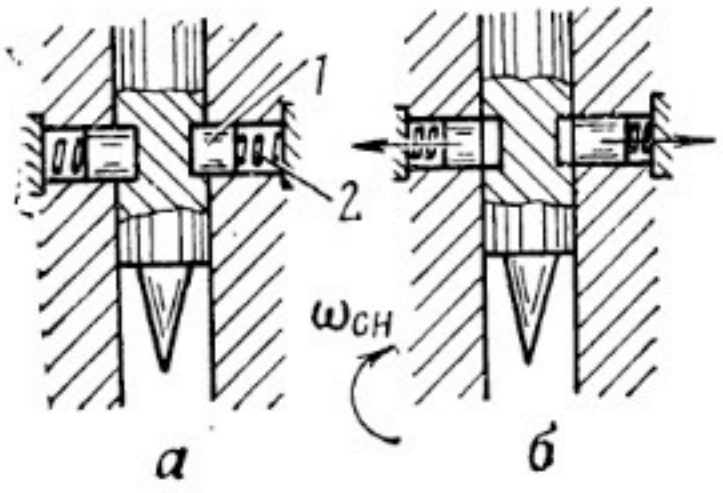


Рис. 7.4. Центробежный предохранительный механизм с пружинным предохранителем:

а — до выстрела; *б* — после выстрела; *1* — центробежный стопор; *2* — предохранительная пружина

тельное устройство с авторегулируемым замедлением (рис. 7.5) состоит из двух скрепленных на резьбе втулок, внутри которых помещаются пороховой замедлитель и инерционный клапан.

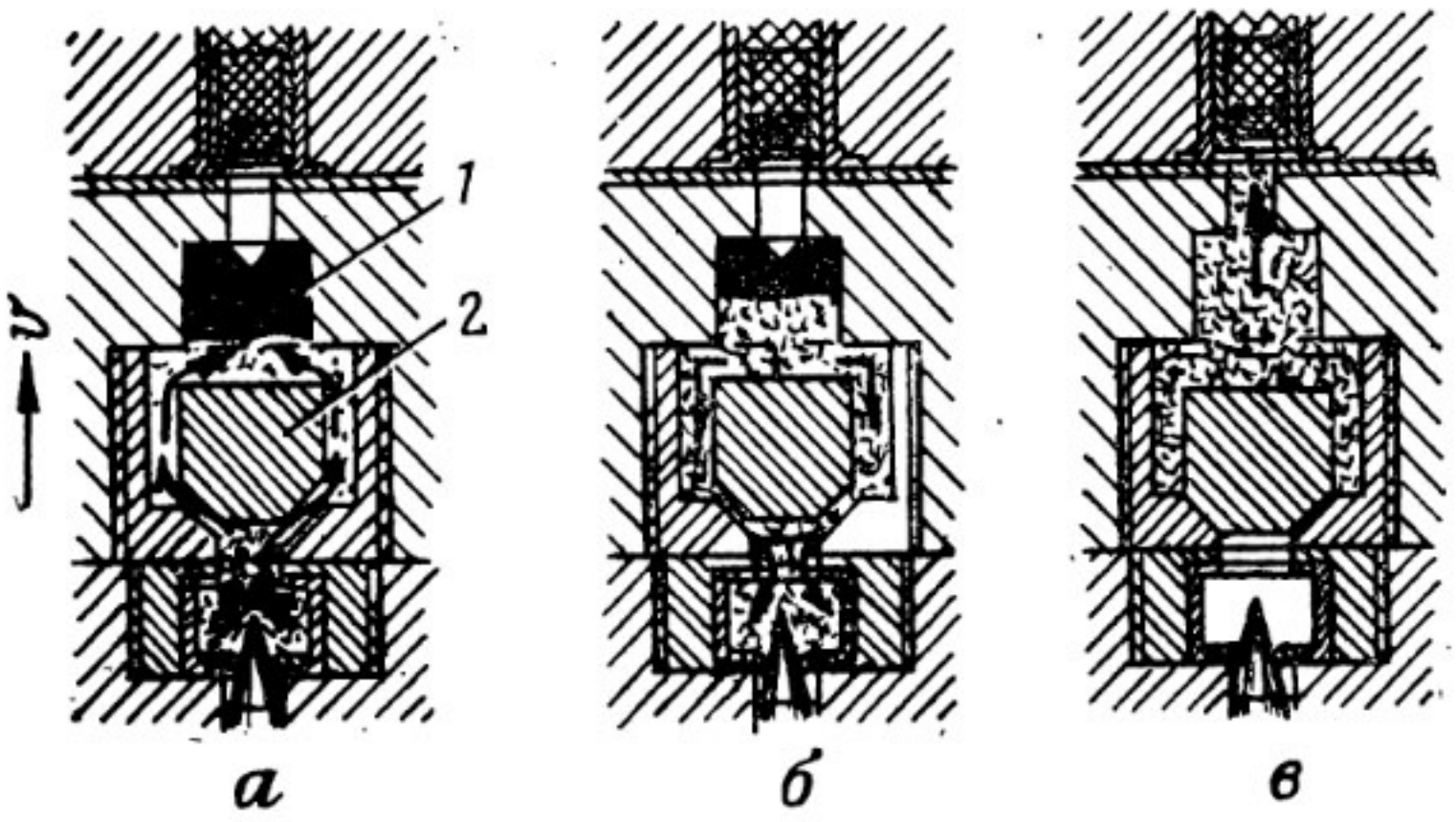


Рис. 7.5. Устройство с авторегулируемым замедлением:

а — при ударе снаряда в преграду; *б* — во время движения снаряда в преграде; *в* — после пробивания преграды снарядом; *1* — пороховой замедлитель; *2* — инерционный клапан

Установочное устройство обеспечивает установку нужного вида действия взрывателя (мгновенного, инерционного, замедленного). Основной его частью является установочный кран или колпачок, или кнопка. С помощью крана изменяется путь прохождения луча

огня в огневой цепи, а колпачок закрывает мгновенный ударник от действия силы реакции преграды.

Механизм изоляции капсюлей осуществляет изоляцию капсюля-воспламенителя от капсюля-детонатора или капсюля-детонатора от детонатора для обеспечения безопасности взрывателя при выстреле и в служебном обращении. Механизм изоляции капсюлей может быть выполнен в виде поворотной втулки (взрыватель РГМ-2),поворотного диска (взрыватель ГКН), центробежного движка и т. д. При отсутствии изоляции капсюлей взрыватель будет непредохранительного типа, при изоляции капсюля-воспламенителя — полупредохранительного типа, а при изоляции капсюля-детонатора — предохранительного типа.

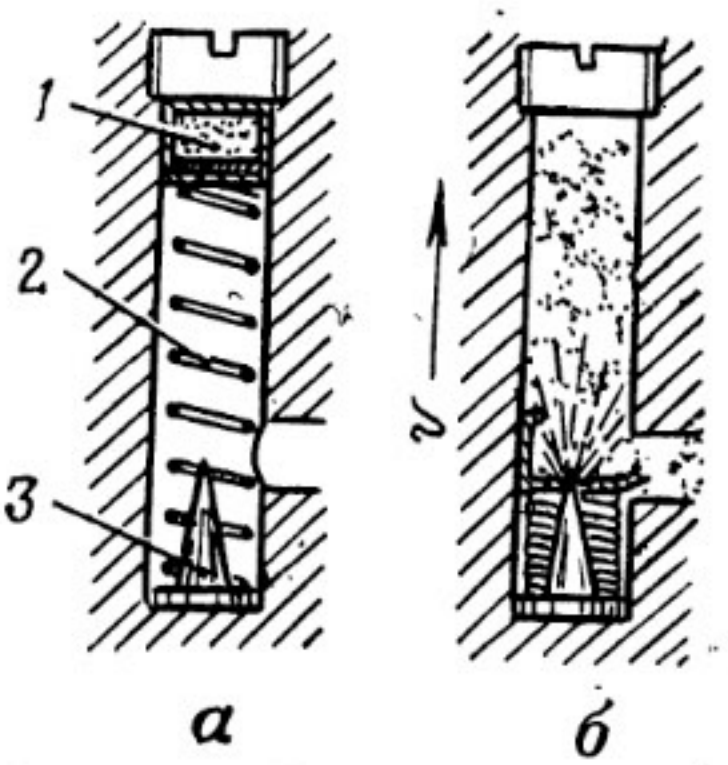


Рис. 7.6. Воспламенительный механизм:

а — до выстрела; *б* — при выстреле в начальный момент движения снаряда по каналу ствола; *1* — капсюль-воспламенитель; *2* — пружина; *3* — жало

Детонирующее устройство создает взрывной импульс, необходимый для взрыва разрывного заряда снаряда. Основной его частью является детонатор из бризантного взрывчатого вещества.

Механизм дальнего взведения применяется для обеспечения дальнего взведения взрывателя, исключающего преждевременное действие в результате случайной встречи с препятствием (кустарником, маскировочной сеткой и т. п.). Наиболее широко применяются механизмы дальнего взведения с пороховым предохранителем.

Воспламенительный механизм служит для воспламенения при выстреле пиротехнических составов или пороховых предохранителей механизмов взрывателей (рис. 7.6).

Специальные механизмы и устройства обеспечивают выполнение специальных функций. Например, антиклевковое устройство, применяемое во взрывателях к реактивным снарядам, исключает действие взрывателя при падении снаряда сразу после схода с направляющей, а механизм самоликвидации во взрывателях зенитной артиллерии вызывает действие снаряда при непопадании в цель.

Электрический взрыватель имеет автономный источник питания, магнитоэлектрический — или пьезогенератор, а в огневой цепи — электрозапал или электродетонатор.

Ударники электрических взрывателей имеют особую конструкцию в виде магнитного стержня, перемещающегося в катушке, или контактной шайбы, передающей давление преграды на пьезоэлемент.

Взрыватели с пневматическим ударным механизмом применяются в минах и реактивных снарядах. В пневматическом удар-

ном механизме нет перемещающихся до встречи с целью деталей, т. е. не требуется взведение взрывателей, готовых к действию после удаления предохранительного колпачка.

Предохранители взрывателей наиболее разнообразны по конструкции, они могут быть удаляемые перед стрельбой, деформируемые при выстреле, сгораемые, расплавляющиеся, вывинчивающиеся в полете и т. д. Предохранители, исключающие перемещение подвижных деталей в полете после взведения взрывателя, называются контрпредохранителями.

Деформируемые предохранители наиболее широко применяются в современных взрывателях. По характеру сил, вызывающих деформацию жестких и пружинных предохранителей при выстреле, они делятся на инерционные и центробежные. Инерционный предохранительный механизм срабатывает под действием силы инерции от линейного ускорения, центробежный — под действием центробежной силы.

Кроме пиротехнических механизмов дальнего взведения во взрывателях могут применяться механические, обычно часовые, механизмы, которые обеспечивают большое время действия и более высокое однообразие.

Установочное устройство в виде крана применяется в головных и донных взрывателях, имеющих замедлительное устройство. Если кран открыт, о чем свидетельствует совмещение стрелки на головке крана с риской «о» на корпусе взрывателя, луч огня от капсюля-воспламенителя передается непосредственно капсюлю-детонатору и взрыватель действует мгновенно. При закрытом кране (при установке крана на «з») луч огня от капсюля-воспламенителя передается замедлителю, чем обеспечивается замедленное действие.

§ 7.2. ДИСТАНЦИОННЫЕ И НЕКОНТАКТНЫЕ ВЗРЫВАТЕЛИ

Дистанционным взрывателем (или трубкой) называется взрыватель, действующий через заданное время после выстрела. Дистанционные взрыватели могут быть пиротехническими и механическими (часовыми).

Все дистанционные взрыватели имеют специальный дистанционный механизм, отсчитывающий время полета снаряда и вызывающий действие взрывателя по истечении установленного перед стрельбой времени. Механический дистанционный взрыватель кроме элементов огневой цепи имеет часовой механизм, пусковое и установочное устройства, дистанционный ударник, механизмы изоляции капсюлей, механизм дальнего взведения, предохранительные механизмы и детонирующее устройство. Во взрывателях двойного действия, кроме того, имеется еще обычный ударный механизм.

Часовой механизм состоит из движущего, передаточного и регулирующего устройств, собранных в одно целое с помощью планок и прокладок, которые скреплены между собой винтами.

Движущее устройство является источником механической энергии, необходимой для приведения механизма в действие. Двигатель состоит из барабана и заводной пружины. Передаточное устройство часового механизма связывает движущее устройство с его регулирующим устройством. Колесная передача, состоящая из системы зубчатых колес, предназначена для преобразования медленного вращения центрального колеса в быстрое вращение ходового колеса и передачи усилия от двигателя к регулятору хода.

Регулирующее устройство обеспечивает равномерное вращательное движение центральной полой оси часового механизма со стрелой. Основные элементы регулирующего устройства — баланс и волосок.

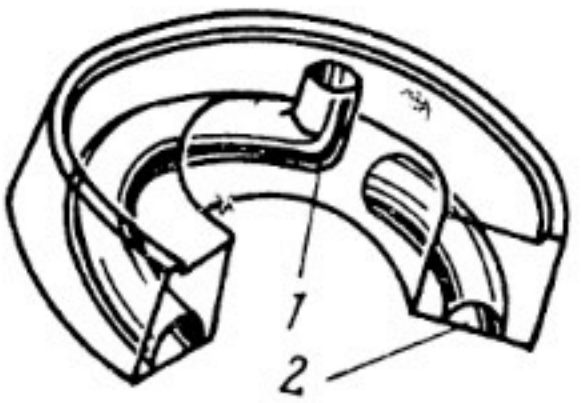


Рис. 7.7. Дистанционное кольцо:

1 — передаточный пороховой столбик; *2* — медленно горящий пороховой состав

Установочное устройство предназначено для установки времени дистанционного действия взрывателя и состоит из колпака с установочной планкой и ножей-фиксаторов. Установочное устройство определяет угол, на который поворачивается центральная ось часового механизма к моменту действия взрывателя.

Дистанционный ударник (накольный механизм) обеспечивает накол капсюля-воспламенителя в заданный момент времени. Дистанционный ударник перемещается под действием сжатой пружины.

Пусковое устройство обеспечивает запуск часового механизма при выстреле. В служебном обращении стрела удерживается от вращения пусковым устройством, которое состоит из клиновидного стопора, помещенного в продольном пазу планок.

Пиротехнический дистанционный взрыватель кроме элементов огневой цепи имеет пиротехнический дистанционный механизм, воспламенительный механизм, установочный механизм, предохранительные механизмы, механизмы изоляции капсюлей, механизм дальнего взведения и детонирующее устройство. Во взрывателях двойного действия, кроме того, имеется обычный ударный механизм.

В дистанционных трубках вместо детонирующего устройства применяется пороховая петарда из дымного пороха. Основными деталями пиротехнического дистанционного механизма являются дистанционные кольца с дуговой канавкой (рис. 7.7), заполненной пиротехническим составом. Этот состав при воспламенении горит с более или менее постоянной скоростью, равной примерно 1 см/с. Дистанционные кольца вместе с тяжелым телом, фиксирующим их при выстреле, образуют установочный механизм. При повороте двух связанных скобой дистанционных колец относительно среднего неподвижного изменяется длина участка горения пиротехнического состава и, следовательно, время дистанционного действия взрывателя. В качестве пускового устройства в пиротехнических

взрывателях применяется обычный воспламенительный механизм.

Для установки времени дистанционного действия применяются различные ключи-установщики, а поворот колец производится до совмещения требуемого деления на шкале дистанционного кольца с установочной риской, нанесенной на корпусе взрывателя. Дистанционная шкала может также наноситься на ключе-установщике.

В отличие от дистанционного взрывателя действие неконтактного взрывателя происходит на некотором расстоянии от цели в результате воздействия на него сигнала, поступающего от цели.

Неконтактные взрыватели могут быть пассивными, активными, полуактивными. Первые используют энергию, излучаемую самой целью, вторые сами излучают энергию к цели и используют отраженную энергию, в третьем случае облучение цели производит посторонний источник энергии.

Для действия неконтактных взрывателей могут быть использованы различные виды энергии: электрическая, магнитная, тепловая, звуковая и др.

Из всех известных типов неконтактных взрывателей наибольшее распространение нашли радиовзрыватели активного типа с использованием эффекта Допплера и построенные на автодинной схеме. В автодинных взрывателях функции передачи и приема радиосигнала выполняет один блок, называемый приемопередатчиком. Он генерирует и излучает высокочастотные электромагнитные колебания, принимает отраженные от цели волны и выделяет управляющий низкочастотный (допплеровский) сигнал.

§ 7.3. ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ

На детали взрывателя в служебном обращении, при выстреле, в полете и при встрече с целью могут действовать силы внутренние (упругости сжатой пружины, давления сжатых газов) и внешние (тяжести, инерции, реакции преграды, давления наружного воздуха и т. д.). Эти силы будут деформировать и перемещать детали взрывателя или вызывать другие физические процессы, т. е. приводить взрыватель в действие. Действие взрывателя должно отвечать предъявляемым к нему требованиям и характеризоваться вполне определенными параметрами: временем, скоростью и путем перемещения детали, кинетической энергией детали, моментами начала и окончания процесса и другими характеристиками процесса. Важное значение имеет однообразие этих параметров, от которого зависят рассеивание точек разрывов и эффективность действия снарядов.

Во время движения снаряда по каналу ствола и в период последействия пороховых газов сила инерции S действует на детали взрывателя в направлении, противоположном направлению движения снаряда. Она вызывает перемещение (оседание) подвижных деталей взрывателя: инерционных гильз и втулок, разгибателей,

инерционных стопоров, ударников воспламенительных механизмов и других деталей.

Из графика изменения силы S при выстреле (рис. 5.2) следует, что перемещение инерционных деталей и деформация удерживающих их предохранителей должны завершиться в промежуток времени от 0 до t_m, так как при дальнейшем движении снаряда по каналу ствола сила S убывает. Если же взведение взрывателя требует перемещения детали в исходное положение, то применяется взводящая пружина, которая сжимается сначала оседающей деталью, а затем, когда сила сопротивления сжатой пружины окажется больше непрерывно убывающей силы S, перемещает деталь.

Центробежная сила C действует по радиусу в направлении от оси вращения снаряда и вызывает перемещение подвижных деталей: центробежных стопоров, движков, фиксаторов и других деталей, которые могут перемещаться в плоскости, перпендикулярной оси снаряда. Так как эта сила достигает наибольшего значения в момент вылета снаряда, то взведение центробежных предохранителей обычно заканчивается после взведения инерционных предохранителей. Помимо полезной работы сила C способна тормозить движение деталей, расположенных эксцентрично и перемещающихся параллельно оси снаряда.

Сила инерции от касательного ускорения K действует в направлении, обратном направлению вращения снаряда, и стремится повернуть детали вокруг оси вращения снаряда, например дистанционные кольца взрывателей.

Наиболее характерным случаем движения деталей при действии взрывателя является случай поступательного или вращательного движения под действием двух сил — движущей силы и силы сопротивления.

Во взрывателе бывает несколько подвижных деталей, перемещение которых при выстреле должно происходить в определенной последовательности. Это достигается выбором схемы взрывателя и параметров отдельных деталей (материала, размеров, конфигурации и т. п.).

Действие взрывателя при выстреле обеспечивает взведение взрывателя, запуск его механизмов, фиксирование положения деталей и т. п. В полете на начальном участке траектории снаряда может продолжаться процесс взведения взрывателя, особенно действие центробежных предохранительных механизмов и механизмов дальнего взведения. Кроме того, происходит действие дистанционных взрывателей. При неблагоприятных условиях вследствие сильной нутации снаряда, прорыва мембраны взрывателя или удара частицы дождя или града могут сработать ударные механизмы.

После взведения взрывателя и перемещения деталей в заданное положение последние могут фиксироваться стопорами. Перемещение ударников в полете полностью исключается с помощью жестких контрпредохранителей или контрпредохранительных пружин.

При встрече с целью происходит действие ударного механизма и огневой цепи взрывателя. К ударным механизмам предъявляется требование чувствительности при ударе снаряда о преграду, под которой понимается способность их действовать по относительно слабым преградам при различных углах встречи. Повышение чувствительности взрывателей достигается увеличением массы инерционного ударника, уменьшением массы реакционного ударника или бокобойной шайбы. Ударные механизмы мгновенного действия стержневого типа действуют по 2—3-мм фанерному щиту, а мембранного типа — по 1-мм картону.

Время действия ударного взрывателя при встрече с целью $t_{взр}$ складывается из времени действия ударного механизма и элементов огневой цепи, а также времени передачи импульса от одного элемента к другому:

$$t_{взр} = t_{уд} + t_{кв} + t_{имп} + t_{кд} + t'_{имп} + t_{пз} + t_{д}, \qquad (7.1)$$

где $t_{уд}$ — время перемещения ударника;
$t_{кв}$ — время срабатывания капсюля-воспламенителя;
$t_{имп}$ — время передачи теплового импульса от капсюля-воспламенителя к капсюлю-детонатору;
$t_{кд}$ — время срабатывания капсюля-детонатора;
$t'_{имп}$ — время передачи взрывного импульса от капсюля-детонатора к передаточному заряду;
$t_{пз}$ и $t_{д}$ — время распространения волны детонации соответственно в передаточном заряде и в детонаторе.

Перемещение ударника должно быть равно сумме расстояния между жалом и капсюлем a и глубины накола капсюля Δ. Для надежного срабатывания капсюля необходимо, чтобы глубина накола была равной 1,2—1,5 мм. Время $t_{уд}$ перемещения ударника определяется величиной перемещения и скоростью $v_{уд}$ движения ударника:

$$t_{уд} = \frac{a + \Delta}{v_{уд}}. \qquad (7.2)$$

Для реакционного ударника справедливо равенство

$$v_{уд} \approx v_{с} = \text{const}.$$

Время срабатывания капсюля-воспламенителя в среднем равно 20 мкс, а капсюля-детонатора лучевого действия — 30—80 мкс.

Время передачи импульса и распространения волны детонации определяется по формуле

$$t = \frac{l}{v}, \qquad (7.3)$$

где v и l — соответственно скорость и путь импульса или волны детонации.

Скорость детонации бризантного взрывчатого вещества примерно равна 7000 м/с, а скорость передачи теплового импульса — около 300 м/с.

Если огневая цепь имеет замедлитель, то время действия взрывателя возрастает на время действия замедлителя. Ориентировочно время действия ударных взрывателей равно: 0,001 с при мгновенном действии, 0,005 с при инерционном действии и 0,01—0,05 с при замедленном действии.

Особенности действия дистанционных взрывателей в основном связаны с действием дистанционных механизмов. Пиротехнические дистанционные механизмы имеют дистанционные составы, способные гореть параллельными слоями с определенной скоростью. Применяемые в настоящее время дистанционные составы можно разделить на следующие группы: обыкновенный трубочный порох (ОТП); медленно горящие пороха; безгазовые и малогазовые составы.

При стрельбе дистанционный состав испытывает на себе совокупное воздействие целого ряда факторов, обусловленных большими скоростями движения снаряда и значительными изменениями температуры и плотности воздуха. При хранении дистанционный состав способен впитывать влагу и разлагаться, если будет нарушена герметичность взрывателя.

Время действия пиротехнического дистанционного механизма определяется приблизительно путем деления длины средней линии дуговых каналов на скорость горения состава, равную для ОТП 1 см/с.

При дистанционной стрельбе одной из причин рассеивания точек разрывов снарядов является рассеивание времен дистанционного действия взрывателей. Срединное отклонение времени дистанционного действия r_t определяется по результатам стрельб, при которых регистрируется время от момента вылета до момента разрыва снаряда. Рассеивание времен действия взрывателей увеличивается с возрастанием t и характеризуется эмпирической зависимостью

$$r_t = a + bt, \tag{7.4}$$

где a и b — опытные коэффициенты, равные для пиротехнических взрывателей соответственно 0,06 и 0,0014.

Время действия часового дистанционного механизма определяется заданным углом поворота стрелы, передаточным отношением передаточного устройства и периодом колебания маятника регулирующего устройства.

К основным причинам, вызывающим рассеивание времени дистанционного действия часовых взрывателей, относятся следующие:

— ошибки регулирования дистанционного механизма;
— неоднообразие момента проскока стрелы;
— погрешности установки времени дистанционного действия;
— нестабильность свойств пружинного волоска;
— рассеивание времени срабатывания пускового устройства.

Рассеивание времени дистанционного действия определяется формулой (7.4), в которой $a=0{,}04$, $b=0{,}005$.

Действие неконтактного радиовзрывателя наземной артиллерии характеризуется высотой разрыва снаряда H, которая может быть рассчитана по формуле

$$H = 0{,}01KS\lambda n \sin^2 \alpha, \qquad (7.5)$$

где K — коэффициент усиления усилителя;
S — чувствительность приемопередатчика;
λ — длина волны радиосигнала;
n — коэффициент отражения радиоволн от земли;
α — угол встречи снаряда с поверхностью земли.

Коэффициент отражения от земли может изменяться от 0,2 для очень сухой почвы до 0,8 для очень влажной почвы.

При неблагоприятных условиях, например при несоблюдении правил эксплуатации боеприпасов, может произойти неправильное действие взрывателя: преждевременное действие, отказ в действии или неполноценное действие. Необходимо предпринимать все меры для исключения неправильного действия, особенно в боевой обстановке.

§ 7.4. УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ВЗВОДИМОСТИ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ

Требования полной безопасности в обращении и надежной взводимости взрывателей при выстреле обеспечиваются выбором конструкции и параметров предохранительных механизмов.

Под безопасностью понимается отсутствие преждевременного действия взрывателя в обращении, т. е. при хранении, транспортировке, ввинчивании и креплении взрывателя в очке снаряда, обращении на огневой позиции и даже случайном падении. Взрыватели будут безопасны в обращении, если подвижные детали надежно удерживаются на месте. Для удержания подвижных деталей применяются предохранительные механизмы с предохранителями. Предохранители должны создавать силу сопротивления, достаточную для противодействия силам, возникающим в результате толчков, ударов, случайных падений боеприпасов.

По условиям массового производства сила сопротивления R предохранителей одного и того же устройства и назначения не может быть совершенно одинаковой. Существует допуск на величину силы сопротивления в пределах от R_{min} до R_{max}, причем для жестких предохранителей разница достигает 40%, для пружинных — 20%.

Опыт показывает, что безопасность взрывателей надежно гарантируется в том случае, если сила сопротивления жесткого предохранителя будет не менее 2000 сил веса удерживаемой им детали. Условие безопасности взрывателя с жестким предохранителем определяется неравенством

$$R_{min} \geqslant 2000 g q_{дет}, \qquad (7.6)$$

где $q_{дет}$ — масса детали, удерживаемой жестким предохранителем.

Пружинный предохранитель после снятия нагрузки восстанавливает свои свойства, поэтому при изготовлении можно проверить

сопротивление каждого предохранителя и уменьшить допуск на величину силы сопротивления. Условие безопасности взрывателя с пружинным предохранителем определяется неравенством

$$R_{\min} \geqslant 1500 g q_{\text{дет}}. \qquad (7.7)$$

Величина числового коэффициента, называемого коэффициентом безопасности, во втором случае будет меньше.

Безопасность взрывателей с пружинными предохранителями можно повысить, если увеличить путь a, который должна пройти взводящая деталь.

На большом пути работа силы сопротивления пружины погасит бóльшую энергию детали, полученную при случайных ударах и падениях снарядов. В этих случаях безопасность пружинного предохранительного механизма устанавливается сравнением энергии взводящей детали с работой, потребной для сжатия пружины до положения, отвечающего взведению взрывателя (наколу капсюля, освобождению подвижной детали и т. д.).

Условие безопасности взрывателя с пружинным предохранителем при большом пути взведения определяется неравенством

$$\frac{R_{\text{ср}} a}{q_{\text{дет}}} \geqslant A_{\text{пр}}, \qquad (7.8)$$

где $R_{\text{ср}}$ — средняя сила сопротивления пружины;

$A_{\text{пр}}$ — удельная работа взведения, величина которой лежит в пределах от 180 до 370 Дж/кг.

Взводимость взрывателя при выстреле может быть обеспечена при условии, что сила сопротивления предохранителя $R_{\max}$ будет меньше наибольшей величины взводящей силы. Для обеспечения надежной взводимости берется некоторый запас взводящей силы.

Для инерционных предохранителей взводящей силой является сила инерции от линейного ускорения S.

Условие взводимости взрывателя с инерционным предохранителем определяется неравенством

$$R_{\max} \leqslant \frac{2}{3} S_{\max}. \qquad (7.9)$$

Числовой коэффициент $^2/_3$ называется коэффициентом запаса взводимости.

Для центробежных предохранителей взводящей силой является центробежная сила C. Условие взводимости взрывателя с центробежным предохранителем определяется неравенством

$$R_{\max} \leqslant \frac{4}{5} C_{\max}. \qquad (7.10)$$

В полете после взведения взрывателя его безопасность зависит от соотношения силы сопротивления контрпредохранителя и наи-

большей величины силы набегания $F_{\text{н max}}$, а условие безопасности определяется неравенством

$$R_{\min} \geqslant F_{\text{н max}}. \tag{7.11}$$

Условия безопасности и взводимости (7.6)—(7.11) используют на практике для оценки качеств взрывателя и возможности применения его в конкретных условиях. Причем вместо наибольших величин сил $S_{\max}$, $C_{\max}$, $F_{\text{н max}}$ вводят соответствующие коэффициенты: линейной взводимости K_1, центробежной взводимости K_2 и набегания K_3, для которых заранее составляют таблицы.

Коэффициент линейной взводимости

$$K_1 = \frac{S_{\max}}{g q_{\text{дет}}} = \frac{\pi d^2}{4qg} p_m \tag{7.12}$$

определяет наибольшее усилие, приходящееся на единицу силы веса инерционной детали при выстреле. Для данных орудия, снаряда и боевого заряда этот коэффициент является величиной постоянной. Зная массу интересующей нас детали и коэффициент линейной взводимости, можно по формуле

$$S_{\max} = K_1 q_{\text{дет}} g \tag{7.13}$$

найти наибольшую величину силы инерции от линейного ускорения. Коэффициент центробежной взводимости

$$K_2 = \frac{C_{\max}}{r_{\text{дет}} q_{\text{дет}} g} = \frac{1}{g} \left(\frac{2\pi}{\eta d} \right)^2 v_0^2 \tag{7.14}$$

определяет наибольшее усилие при выстреле, приходящееся на единицу силы веса центробежной детали, центр масс которой расположен на расстоянии $r_{\text{дет}}$ от оси вращения снаряда, равном 1 см.

Зная коэффициент центробежной взводимости, можно по формуле

$$C_{\max} = K_2 r_{\text{дет}} q_{\text{дет}} g \tag{7.15}$$

найти наибольшую величину центробежной силы.

Коэффициент набегания

$$K_3 = \frac{F_{\text{н max}}}{g q_{\text{дет}}} \tag{7.16}$$

определяет наибольшее усилие, приходящееся на единицу силы веса детали в полете. Исходные данные и численные значения коэффициентов приведены в табл. 7.1.

Приведенные в таблице данные показывают, что силы, действующие на детали взрывателей, достигают весьма больших значений при стрельбе из пушек, особенно малокалиберных. Наоборот, при стрельбе из гаубиц и минометов на детали взрывателей действуют сравнительно небольшие силы. Поэтому существуют разные образцы артиллерийских взрывателей для пушек, гаубиц и минометов. Кроме того, иногда ограничивают применение взры-

вателей на последних номерах боевых зарядов при стрельбе из гаубиц.

Неравенства (7.9), (7.10) и (7.11) можно записать с учетом введенных коэффициентов:

— условие взводимости взрывателя с инерционным предохранителем

$$R_{max} \leqslant \frac{2}{3} K_1 q_{дет} g; \qquad (7.17)$$

— условие взводимости с центробежным предохранителем

$$R_{max} \leqslant \frac{4}{5} K_2 r_{дет} q_{дет} g; \qquad (7.18)$$

— условие безопасности в полете

$$R_{min} \geqslant K_3 q_{дет} g. \qquad (7.19)$$

Таблица 7.1

Орудие	Длина хода нарезов η	Снаряд	Масса снаряда, кг	Боевой заряд	Начальная скорость, м/с	Максимальное давление, кгс/см²	Коэффициенты		
							K_1	K_2 1/см	K_3
45-мм противотанковая пушка обр. 1937 г.	25	О	2,15	Полный	335	1200	8870	3570	81
		БР	1,45	Полный	760	2560	28100	18400	23
76-мм дивизионная пушка обр. 1942 г.	25	О	6,20	Полный	680	2880	17400	5150	13
		О	6,20	Уменьшенный	475	1880	13800	2510	6,5
122-мм гаубица обр. 1938 г.	20	ОФ	21,8	Полный	515	2350	12600	1790	5,6
		ОФ	21,8	Шестой	250	530	2860	280	0,3
122-мм пушка обр. 1931 г.	25	ОФ	25,0	Полный	800	2750	12900	2770	11
		ОФ	25,0	Третий	570	1000	4670	1400	5,9
240-мм миномет М-240	21	Ф	130,7	Первый	158	180	595	—	—
		Ф	130,7	Особый	362	790	2610	—	—

ГЛАВА 8

БОЕВЫЕ ЗАРЯДЫ

Боевым зарядом называется элемент выстрела, предназначенный для сообщения снаряду заданной начальной скорости при допустимом наибольшем давлении пороховых газов.

Боевой заряд состоит из оболочки, порохового заряда, средства воспламенения и дополнительных элементов.

Оболочка предназначена для размещения остальных элементов боевого заряда. Она выполняется в виде гильзы или матерчатого картуза.

Пороховой заряд является основной частью боевого заряда и служит источником химической энергии, которая при выстреле превращается в механическую энергию — кинетическую энергию снаряда.

Средство воспламенения приводит в действие боевой заряд.

К дополнительным элементам относятся воспламенитель, флегматизатор, размедннтель, пламегаситель, обтюрирующее устройство, фиксирующее устройство.

К боевым зарядам предъявляются следующие основные требования: однообразие действия при стрельбе, малое отрицательное влияние на поверхность канала ствола, стойкость при длительном хранении, простота подготовки заряда к стрельбе.

§ 8.1. ПОРОХОВЫЕ ЗАРЯДЫ

Пороховой заряд состоит из бездымного пороха одной или нескольких марок. Во втором случае заряд называется комбинированным.

Пороховой заряд может быть изготовлен в виде одной или нескольких частей (навесок) и в зависимости от этого будет называться постоянным или переменным зарядом. Переменный заряд состоит из основного пакета и дополнительных пучков. Перед стрельбой дополнительные пучки можно удалять, изменяя массу заряда и начальную скорость снаряда. Пороховой заряд выстрелов патронного заряжания (рис. 8.1) является, как правило, постоянным, простым или комбинированным. В зависимости от массы порохового заряда он может быть полным, уменьшенным или спе-

циальным. Обычно к пушкам малого и среднего калибров применяются зерненые пироксилиновые пороха, которые помещаются в гильзе россыпью или в картузе.

Для обеспечения надежного воспламенения в длинных зарядах применяются пучки из трубчатого пироксилинового пороха или стержневые воспламенители. Пороховой заряд из трубчатого пороха помещают в гильзу в виде пакета, связанного нитями, и отдельных трубок. Пороховые заряды выстрелов раздельного гильзового заряжания (рис. 8.2) являются, как правило, переменными и состоят обычно из двух марок пороха. При этом могут применяться пороха зерненые или трубчатые пироксилиновые, а также баллистные нитроглицериновые. Зерненые пороха размещаются в картузах, трубчатые — в виде связок.

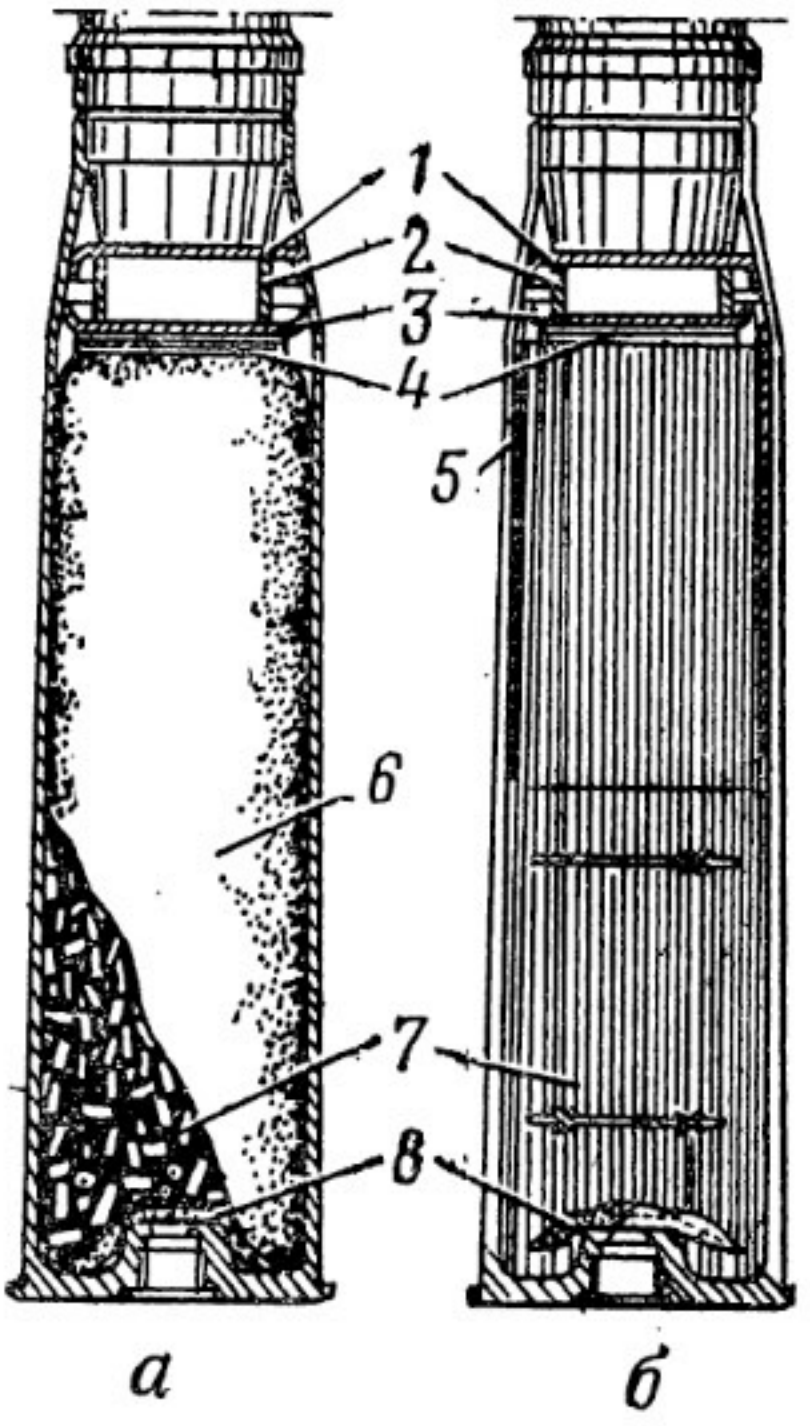


Рис. 8.1. Боевые заряды выстрелов патронного заряжания:

а — из зерненого пороха; *б* — из трубчатого пороха; *1* — обтюратор; *2* — цилиндрик; *3* — кружок; *4* — размедни-тель; *5* — флегматизатор; *6* — картуз; *7* — порох; *8* — воспламенитель

Основной пакет изготовляют обычно из более тонкого пороха, чтобы обеспечить на наименьшем заряде заданную скорость и давление, необходимое для надежного взведения взрывателя. Пороховые заряды выстрелов раздельного картузного заряжания (рис. 4.3) всегда являются переменными и состоят из одной или двух марок пороха. При этом могут применяться как пироксилиновые зерненые или трубчатые, так и баллистные трубчатые пороха.

Минометные боевые заряды обеспечивают сравнительно невысокие значения начальных скоростей мин и максимального давления в канале ствола миномета. Полный переменный минометный боевой заряд (рис. 8.3) состоит из воспламенительного (основного) заряда, который находится в бумажной гильзе с металлическим цоколем, и нескольких равновесных дополнительных пучков кольцевой формы в картузах. Воспламенительный заряд содержит сравнительно небольшую навеску нитроглицеринового пороха. Вес ее обычно не превосходит 10% веса полного переменного заряда. Для минометных зарядов используются обычно быстрогорящие высококалорийные нитроглицериновые пороха. Это обусловливается необходимостью обеспечить полное сгорание их в относительно коротком стволе миномета при небольших плотностях заряжания. Картузы дополнительных пучков изготовляют из мит-

каля, батиста или шелка. На картузы наносится маркировка.

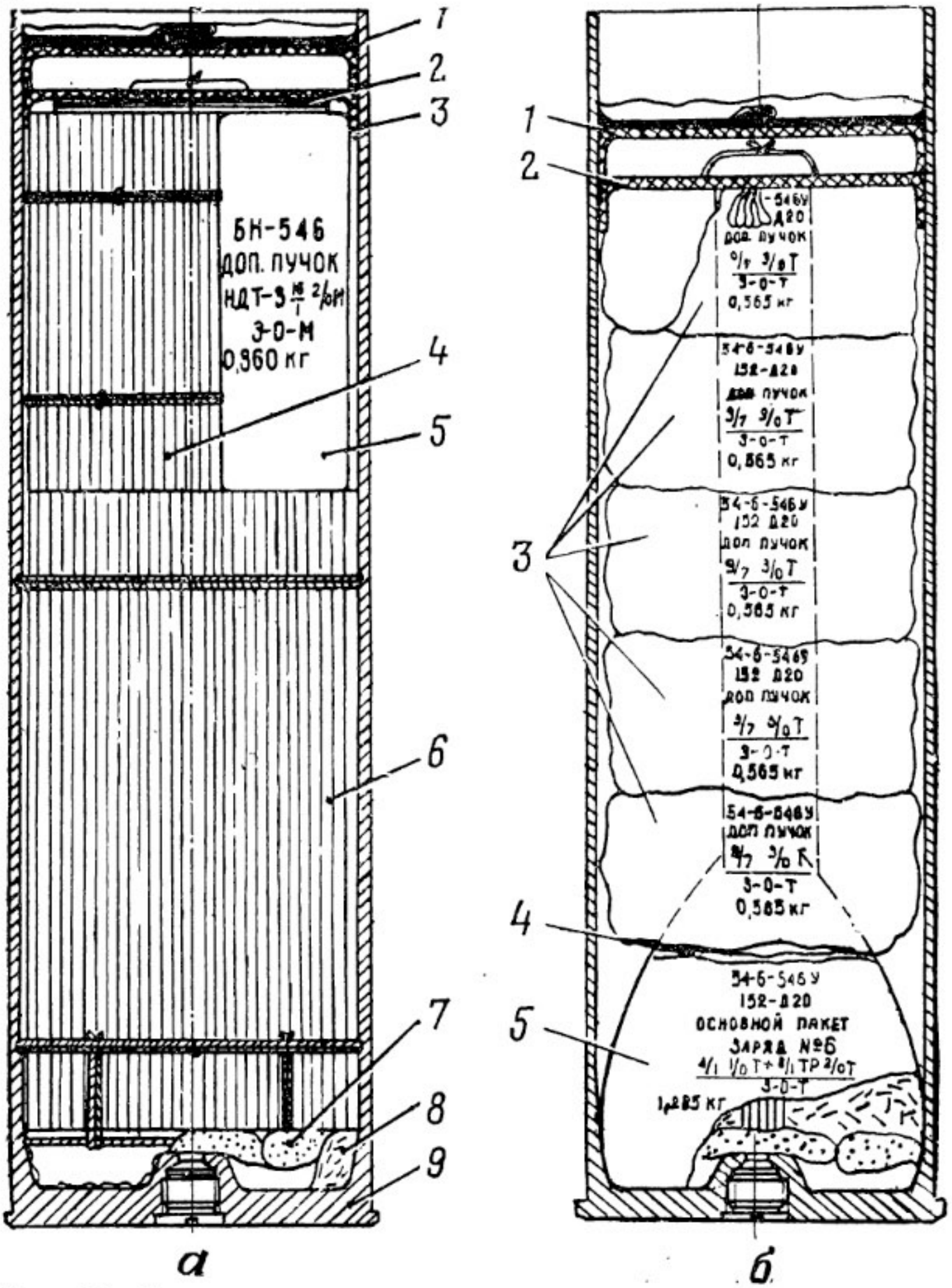


Рис. 8.2. Боевые заряды выстрелов раздельного гильзового заряжания:

а — полный переменный из трубчатого пороха: *1* — усиленная крышка; *2* — размеднитель; *3* — нормальная крышка; *4* — верхний пучок; *5* — дополнительный пучок; *6* — нижний пучок; *7* — воспламенитель; *8* — пламегаситель; *9* — гильза

б — уменьшенный переменный из зерненого пороха: *1* — усиленная крышка; *2* — нормальная крышка; *3* — дополнительные пучки; *4* — размеднитель; *5* — основной пакет

Воспламенитель усиливает тепловой импульс средства воспламенения и обеспечивает быстрое и одновременное воспламенение пороховых элементов заряда. Он представляет собой навеску дым-

ного пороха, помещаемого в картуз или в трубку с отверстиями (рис. 8.4). Масса воспламенителя составляет 0,5—5% массы порохового заряда.

Воспламенитель располагается снизу порохового заряда, а если заряд имеет большую длину и состоит из двух полузарядов, то снизу каждого полузаряда. Дымный порох воспламенителя быстро сгорает, создавая в каморе орудия

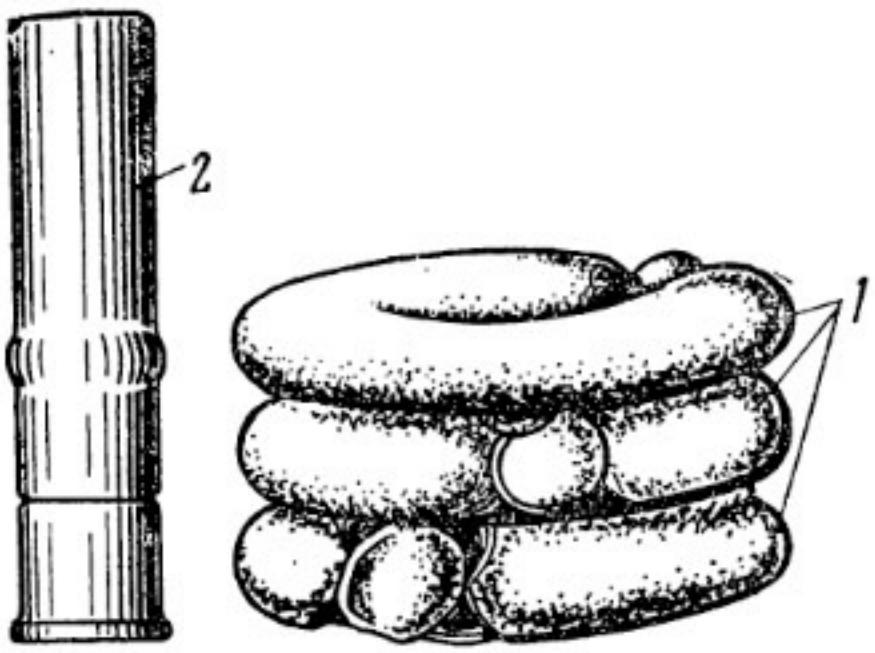


Рис. 8.3. Минометный боевой заряд:
1 — дополнительные пучки; *2* — воспламенительный (основной) заряд

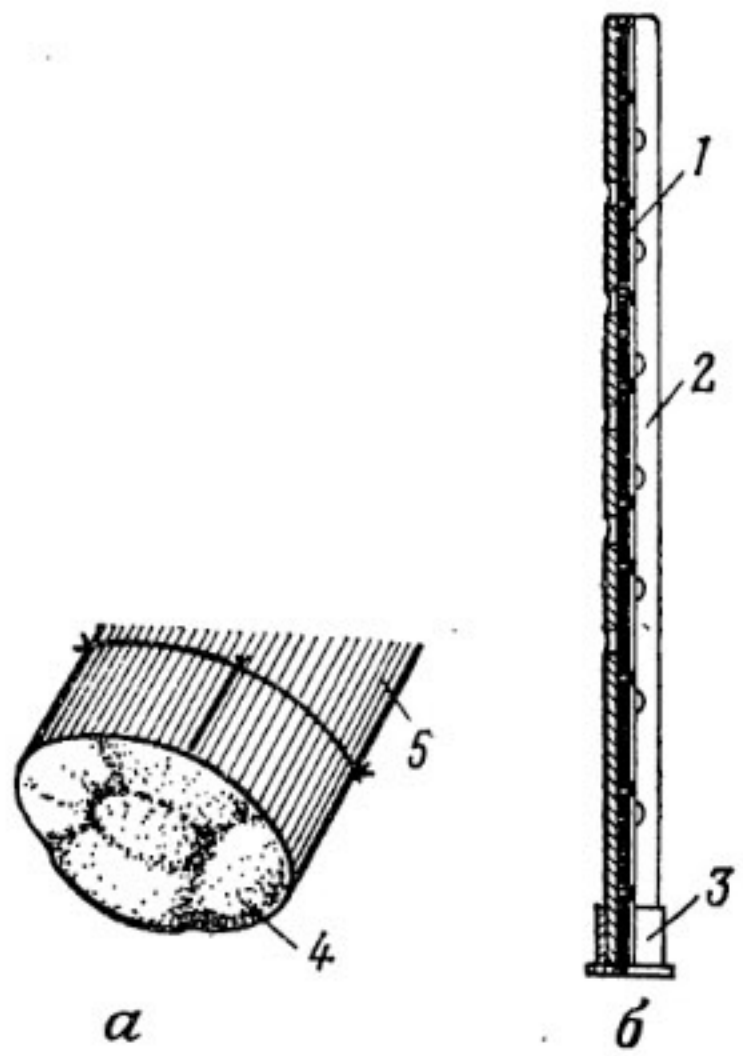


Рис. 8.4. Воспламенители:
а — боевого заряда без картуза; *б* — стержневой; *1* — пороховые столбики; *2* — картонная трубка; *3* — фланец трубки; *4* — дымный ружейный порох в картузе; *5* — пороховой заряд

давление пороховых газов от 30 до $60 \cdot 10^5$ Н/м^2. Твердые продукты сгорания способствуют воспламенению пороха.

Рис. 8.5. Размеднитель

Рис. 8.6. Пламегаситель

Размеднитель препятствует омеднению канала ствола орудия (рис. 8.5). Для изготовления размеднителей применяется свинцовая проволока, которая располагается сверху порохового заряда в виде мотка массой, равной около 1% массы заряда.

Действие размеднителя при выстреле состоит в том, что при высокой температуре газов в канале ствола свинец с медью образует низкоплавкий сплав. Основная масса этого сплава удаляется при выстреле потоком пороховых газов.

Пламегаситель (рис. 8.6) предназначается для устранения дульного пламени, которое образуется при выстреле и демаскирует в темное время суток стреляющее орудие. В качестве пламегасящих веществ используется сернокислый калий K_2SO_4 или хлористый калий KCl, размещаемый сверху порохового заряда в плоском кольцеобразном картузе (7—10% массы заряда). При выстреле он понижает температуру пороховых газов, снижает их активность и образует пылевидную оболочку, которая мешает быстрому смешению пороховых газов с воздухом.

Для устранения обратного пламени применяются пламегасящие пороха, содержащие в своем составе до 50% пламегасящего вещества и располагающиеся в картузе снизу порохового заряда.

Флегматизатор применяется в боевых зарядах к пушкам, имеющим начальную скорость снаряда 800 м/с и более, в целях предохранения стволов от разгара и повышения их живучести (в два — пять раз). В ряде случаев флегматизатор служит для гашения обратного пламени.

Флегматизатор представляет собой сплав высокомолекулярных углеводородов (парафина, церезина, петролатума), нанесенных на тонкую бумагу, располагаемую вокруг боевого заряда в верхней его части. В зарядах из холодных порохов масса флегматизатора составляет 2—3%, а в зарядах из пироксилиновых порохов — 3—5% массы заряда.

Действие флегматизатора состоит в том, что при выстреле он возгоняется, вступает в эндотермические реакции с газами, в результате чего образуется тонкий слой газов с пониженной температурой у поверхности канала ствола в начале нарезной части. Это уменьшает поток тепла от газов к стенкам ствола и, следовательно, его разгар.

Для пушек старых образцов в выстрелах раздельного гильзового заряжания применялись просальники, служащие для той же цели, что и флегматизаторы. Просальник представляет собой картонный футляр со специальной смазкой.

Обтюрирующее устройство в боевых зарядах раздельного гильзового заряжания состоит из нормальной и усиленной картонных крышек, первая из которых служит для уменьшения прорывов пороховых газов при врезании ведущих поясков в нарезы, а вторая — для герметизации заряда при хранении (покрывается герметизирующей смазкой).

Фиксирующее устройство в боевых зарядах гильзового заряжания состоит из картонных кружков, цилиндриков и других элементов, предназначенных для фиксирования порохового заряда или его части в гильзе.

§ 8.2. ГИЛЬЗЫ

Гильза служит для размещения элементов боевого заряда, а также для предохранения заряда от механических повреждений и влаги при хранении и транспортировке, соединения заряда со снарядом в патрон и обтюрации пороховых газов при выстреле.

По назначению гильзы делятся на две группы:
— к выстрелам раздельного заряжания;
— к выстрелам патронного заряжания.

По материалу гильзы бывают латунные, стальные, неметаллические (пластмассовые), со сгорающим корпусом.

По конструкции гильзы подразделяются на цельнотянутые и сборные. Цельнотянутые гильзы изготовляются из одного куска металла.

Металлические сборные гильзы по конструкции корпуса подразделяются на гильзы со свертным, цельнотянутым или сварным корпусом.

К гильзам предъявляются следующие основные требования: надежная обтюрация пороховых газов, легкость экстрактирования после выстрела, многострельность. Допускается для гильз патронного заряжания закопченность до 35—50% ее длины от среза дульца, а для гильз раздельного заряжания — до 80—85%. Латунные гильзы используются после реставрации не менее пяти раз, а стальные — не менее трех раз.

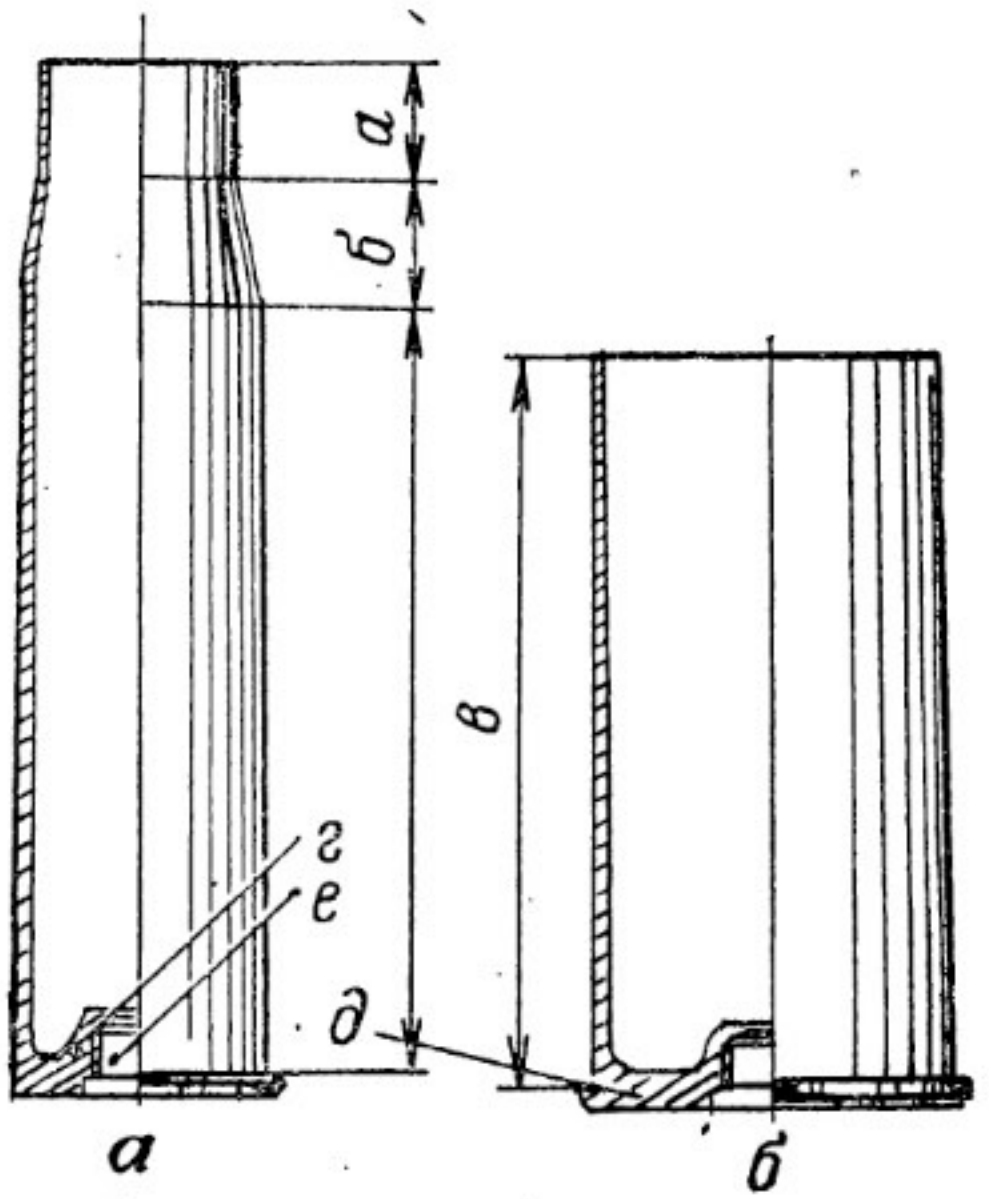


Рис. 8.7. Цельнотянутые гильзы:
а — выстрела патронного заряжания; *б* — выстрела раздельного гильзового заряжания; *а* — дульце; *б* — скат; *в* — корпус; *г* — дно с соском; *д* — фланец; *е* — очко для капсюльной втулки

По наружному и внутреннему очертанию в гильзе различают следующие элементы (рис. 8.7): дульце, скат, корпус, дно с соском, фланец, очко с резьбой для капсюльной втулки и камору.

Дульце служит для соединения гильзы со снарядом. Диаметр дульца гильзы в целях обеспечения натяга между дульцем и снарядом делается немногим меньше диаметра запоясковой части снаряда. Длина дульца обычно составляет 0,5—0,8 калибра, а толщина — 0,014—0,02 калибра.

Скат служит для обтюрации пороховых газов при выстреле и для фиксирования выстрела в патроннике. Длина и крутизна ската зависят от соотношения диаметров корпуса и дульца гильзы. Практически длина ската находится в пределах от 0,4 до 1,1 калибра, а толщина стенок возрастает от дульца к корпусу.

Корпус предназначен для размещения порохового заряда и обтюрации пороховых газов при выстреле. Корпус имеет форму усеченного конуса с углом конусности 0°20′—1°30′. Толщина стенок корпуса принимается минимальной, при которой обеспечиваются прочность гильзы при выстреле и жесткость в условиях

обращения. Для существующих образцов толщина стенки корпуса в нижней части равна 0,02—0,04 калибра.

Фланец служит для фиксирования патрона (гильзы) в патроннике при заряжании и для экстракции гильзы после выстрела. Размеры фланца должны обеспечить надежность захвата гильзы лапками экстрактора и достаточную прочность его.

Дно гильзы предназначено для запирания канала ствола и размещения средства воспламенения. Толщина дна у гильз к неавтоматическим орудиям — 5—18 мм.

Сосок гильзы предназначен для размещения средства воспламенения. Действие гильзы при выстреле заключается в следующем. При возрастании давления пороховых газов произойдут сначала упругие, а затем пластические деформации дульца, ската и верхней части корпуса гильзы. В результате произойдет прилегание гильзы к стенкам каморы. После выстрела под действием внутренних напряжений упругие деформации исчезнут и, хотя небольшие остаточные деформации сохранятся, между стенками гильзы и каморы образуется зазор, обеспечивающий легкое экстрактирование гильзы.

§ 8.3. СРЕДСТВА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Средством воспламенения называется элемент боевого заряда, предназначенный для воспламенения порохового заряда при выстреле.

По способу приведения в действие средства воспламенения подразделяются на вытяжные, электрические, ударные и комбинированные. В настоящее время наиболее распространены ударные и электроударные средства воспламенения, которые выполняются в виде капсюлей, капсюльных втулок и ударных трубок.

К средствам воспламенения предъявляются следующие основные требования: обеспечение достаточного теплового импульса, обтюрация пороховых газов, многострельность. Средство воспламенения состоит из корпуса, воспламенительного узла, обтюрирующего узла и пороховой петарды (заряда).

Наиболее распространенными в наземной артиллерии средствами воспламенения являются капсюльные втулки КВ-4, КВ-5, КВ-13 и ударная трубка УТ-36.

Капсюльная втулка КВ-4 применяется в боевых зарядах выстрелов гильзового заряжания к орудиям среднего калибра при давлении пороховых газов, не превышающем $3600 \cdot 10^5$ Н/м^2.

Капсюльная втулка состоит (рис. 8.8) из латунного или стального корпуса, капсюля *1* с втулкой *2*, наковаленки *9* с обтюрирующим конусом *8* из красной меди и пороховой петарды *5*, покрытой кружком *6* из латунной фольги. На наружной поверхности корпуса имеется резьба, предназначенная для соединения втулки с гильзой.

При выстреле боек ударника стреляющего приспособления вдавливает дно корпуса втулки, капсюль разбивается о накова-

ленку, а продукты взрыва поднимают обтюрирующий конус и воспламеняют порох петарды, образуются пороховые газы и тепловой импульс. Давление пороховых газов прижимает обтюрирующий конус к гнезду наковаленки, исключая прорыв газов через дно втулки.

Капсюльные втулки КВ-5 и КВ-5У применяются в боевых зарядах к пушкам, у которых наибольшее давление пороховых газов значительно и может достигать $4300 \cdot 10^5$ Н/м^2. Особенностью втулки КВ-5 является то, что камора под пороховую петарду у нее вынесена из зоны резьбы, а обтюрирующий конус размещен непосредственно в корпусе втулки. Благодаря этому значительно

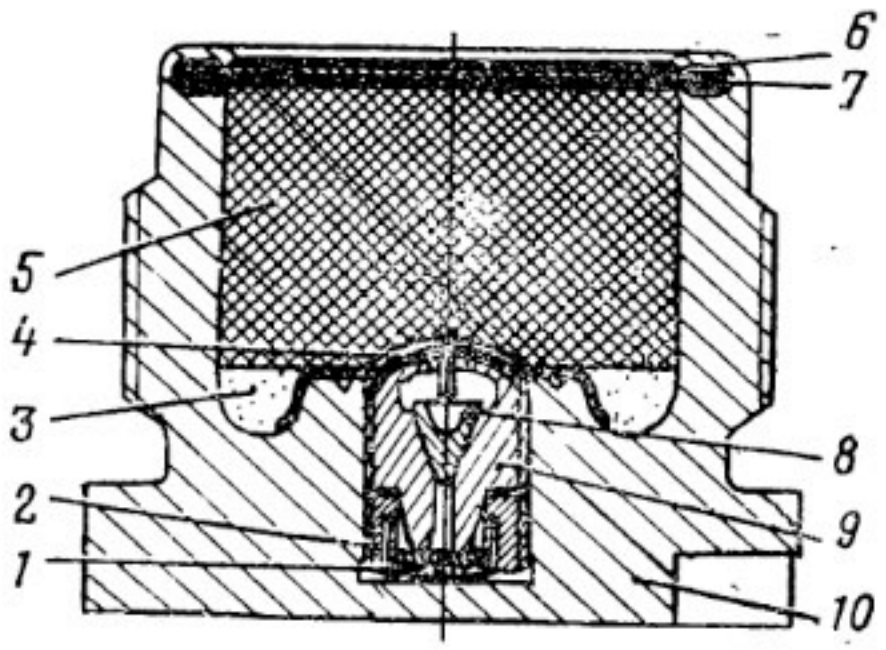


Рис. 8.8. Капсюльная втулка КВ-4:

1 — капсюль-воспламенитель; *2* — прижимная втулка; *3* — пороховой заряд; *4* — бумажный кружок; *5* — пороховая петарда; *6* — латунный кружок; *7* — пергаментно-марлевый кружок; *8* — обтюрирующий конус; *9* — наковаленка; *10* — корпус

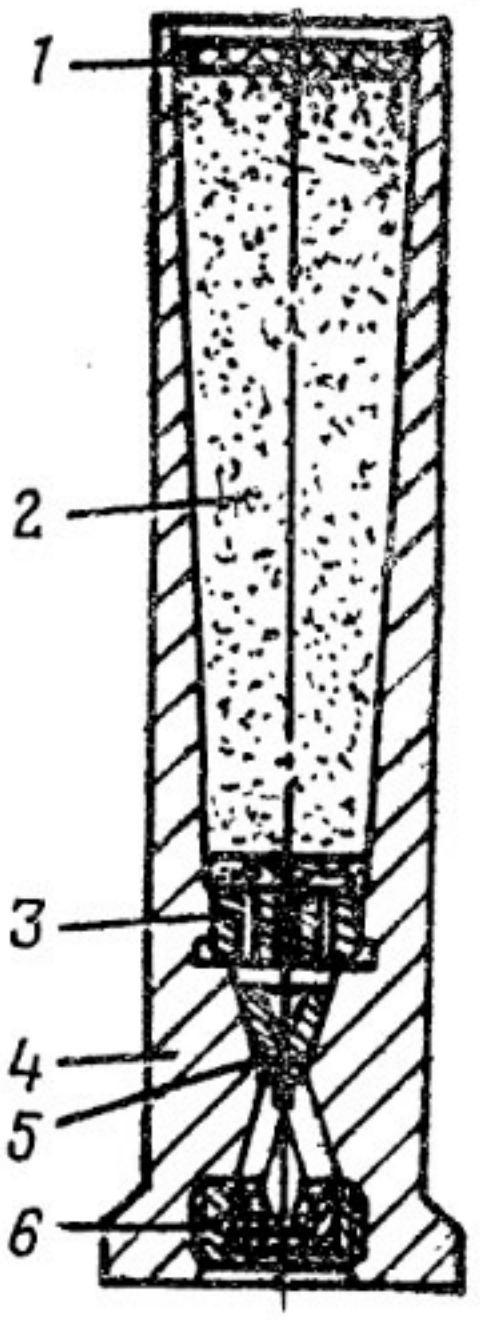


Рис. 8.9. Ударная трубка УТ-36:

1 — пергаментный кружок; *2* — пороховой заряд; *3* — втулка с отверстиями; *4* — корпус; *5* — обтюрирующий конус; *6* — втулка с капсюлем-воспламенителем

уменьшились деформации корпуса втулки в зоне резьбы при выстреле. Втулка КВ-5У является улучшенной модификацией втулки КВ-5.

Капсюльные втулки КВ-13 и КВ-13У появились в наземной артиллерии вместе с боеприпасами морской артиллерии и применяются в боевых зарядах орудий, у которых давление пороховых газов не превышает $3500 \cdot 10^5$ Н/м^2.

Втулка КВ-13 отличается от втулки КВ-4 более прочным корпусом, обтюрирующим шариком вместо конуса, наличием обтюратора и обтюрирующего кольца. Обтюратор улучшает внутреннюю обтюрацию втулки при более тонком дне корпуса. Медное обтюри-

рующее кольцо предназначено для улучшения внешней обтюрации втулки.

Втулка КВ-13У является более поздним усовершенствованным образцом и отличается от втулки КВ-13 тем, что имеет более стойкий капсюль и медный обтюрирующий конус.

Ударная трубка УТ-36 (рис. 8.9) обр. 1936 г. применяется для воспламенения боевых зарядов в орудиях раздельного картузного заряжания и по устройству аналогична капсюльным втулкам.

ГЛАВА 9

ЭКСПЛУАТАЦИЯ БОЕПРИПАСОВ

Под эксплуатацией боеприпасов следует понимать совокупность мероприятий, проводимых в войсках с момента поступления боеприпасов с завода до полного израсходования их ресурса и направленных на сохранение, восстановление и применение боевых качеств.

Основными видами эксплуатации боеприпасов являются сборка, хранение, сбережение, ремонт, транспортировка, подготовка к стрельбе и стрельба, уничтожение.

Все боеприпасы в процессе их производства на заводах делятся на группы, которые называются партиями изготовления, снаряжения или сборки. Каждой партии боеприпасов присваивается номер. Например, партии по снаряжению обычно имеют следующее количество снарядов: 76-мм — 10 000 шт.; 76—122-мм — 5000 шт.; 122—152-мм — 3000 шт. Партия взрывателей содержит 3000—5000 шт., а партия капсюльных втулок — до 50 000 шт. Боеприпасы данной партии изготовляются при одинаковых условиях и, следовательно, обладают одинаковыми качествами. Деление боеприпасов на партии упрощает эксплуатацию боеприпасов и повышает ее эффективность.

§ 9.1. ХРАНЕНИЕ И СБЕРЕЖЕНИЕ БОЕПРИПАСОВ

Продолжительность службы боеприпасов и безопасность действия их зависят от правильного хранения боеприпасов в войсках, тщательного выполнения указаний по их сбережению и умелого обращения с ними.

При неблагоприятных условиях хранения боеприпасы получают значительные дефекты, устранение которых требует цехового ремонта уже через 1—2 года после их изготовления, а при благоприятных условиях те же боеприпасы хранятся 10 и более лет без ремонта.

Черные и цветные металлы, из которых изготовляются элементы боеприпасов, в процессе хранения подвергаются коррозии, которая является главным бичом металлов. Антикоррозийные покрытия в виде осалки, окраски, лакировки, пассивирования, фос-

фатирования защищают металлы от воздействия атмосферной влаги, если относительная влажность воздуха в хранилище будет поддерживаться в пределах 70—80%.

При хранении боеприпасов наибольшее разрушающее действие на деревянную укупорку оказывают дереворазрушающие грибки. При благоприятных условиях для развития этих грибков через 1—2 года древесина приходит в полную негодность, теряет механическую прочность и превращается в труху.

Для защиты боеприпасов от коррозии, а деревянной укупорки от грибков необходимо поддерживать в хранилищах относительную влажность воздуха не выше 80%, не допускать резких температурных перепадов и выпадения росы. Боеприпасы в войсках следует хранить отдельно от всех видов вооружения, имущества и материалов. Хранение их в парках, самоходных установках, танках и автомашинах допускается в крайних случаях и только с особого разрешения.

При размещении боеприпасов в хранилищах следует выполнять указания по их совместному хранению. Так, хранить пиротехнические средства, дымный порох и изделия из него в одном хранилище с другими боеприпасами категорически запрещается.

Чтобы обеспечить постоянную боевую готовность боеприпасов, необходимо не только правильно организовать их хранение, но и осуществлять надлежащий уход за ними.

Сбережение боеприпасов в войсках предполагает проведение в установленные сроки осмотров, отбор и отправку образцов на физико-химические испытания, своевременное выявление дефектов, выполнение необходимого ремонта и точное соблюдение правил безопасности.

Осмотры боеприпасов подразделяются на текущие и контрольно-технические. Текущие осмотры проводятся в соответствии с требованиями Устава внутренней службы. При текущих осмотрах боеприпасов проверяются точность соблюдения правил размещения и хранения боеприпасов, устойчивость штабелей, целость укупорки, исправность хранилищ, чистота и порядок в хранилищах и на территории склада, наличие необходимого инвентаря и его состояние.

Контрольно-техническим осмотрам подвергаются все боеприпасы, хранящиеся на войсковом складе, за исключением боеприпасов, подлежащих ремонту в текущем году, и боеприпасов, находящихся в герметической укупорке, продолжительность хранения которых после изготовления не превышает 5 лет. Боеприпасы, хранящиеся в герметической укупорке более 5 лет, осматриваются по распоряжению вышестоящего начальника. Для контрольно-технического осмотра боеприпасы отбираются в количестве 2% каждой партии. При обнаружении дефектов в отобранных боеприпасах количество осматриваемых боеприпасов данной партии удваивается. Если при повторном осмотре будут обнаружены дефекты, то все боеприпасы данной партии подлежат ремонту. Ремонт боеприпасов в войсках организуется при полковых и дивизионных

складах боеприпасов и производится по плану, составленному на основе акта контрольно-технического осмотра боеприпасов и утвержденному командиром части или соединения.

В войсках проводятся следующие ремонтные работы:

— удаление продуктов коррозии с поверхностей снарядов, мин и гильз;

— восстановление антикоррозийного покрытия;

— замена холостых втулок, ввинченных в очко для взрывателя;

— восстановление маркировки на боеприпасах и укупорке;

— замена капсюльных втулок в артиллерийских выстрелах и воспламенительных зарядов в минометных выстрелах;

— восстановление нарушенной герметизации боевых зарядов в гильзах и взрывателей в окончательно снаряженных снарядах и минах;

— зачистка забоин на ведущих поясках снарядов и на гильзах;

— вывинчивание из снарядов и мин негодных головных взрывателей, а также работы, связанные с приведением боеприпасов в окончательно снаряженный вид;

— ремонт укупорки.

Для проведения работ по ремонту боеприпасов, а также приведения в окончательно снаряженный вид снарядов, мин и выстрелов патронного заряжания в войсках оборудуются специальные пункты. Расстояние от пункта работ до хранилищ и штабелей с боеприпасами должно быть не менее 40 м.

§ 9.2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ БОЕПРИПАСОВ НА ОГНЕВОЙ ПОЗИЦИИ

На огневые позиции боеприпасы доставляются специальным транспортом с точным соблюдением правил безопасности и охраны. Перевозить боеприпасы можно железнодорожным, водным, автомобильным, воздушным, гужевым и вьючным транспортом.

При транспортировке боеприпасов необходимо выполнять следующие основные правила:

— перевозить боеприпасы только в штатной исправной укупорке;

— при погрузке боеприпасов на транспортные средства правильно укладывать и тщательно закреплять их;

— перевозить боеприпасы только на исправных транспортных средствах;

— не превышать установленных норм грузоподъемности.

Перевозка боеприпасов автомобильным транспортом в войсках является основным видом перевозок. Автомобили с боеприпасами для обозначения опасности груза снабжаются красными флажками. Скорость движения автомобилей зависит от времени суток, состояния дороги и веса перевозимого груза.

Для отдыха и привалов автоколонна съезжает с дороги и останавливается не ближе 50 м от нее. Остановки разрешаются только вне населенных пунктов и предназначаются для проверки техни-

ческого состояния и заправки автомобилей, проверки укладки и состояния груза. Курение разрешается не ближе 50 м от места расположения автомобилей, а разведение открытого огня — не ближе 100 м.

На огневые позиции батарей подаются готовые выстрелы в штатной укупорке, приведенные в окончательно снаряженный вид, годные к боевому использованию и предназначенные для стрельбы из данных орудий. Поступившие на огневую позицию выстрелы подвергаются наружному осмотру на исправность и пригодность к стрельбе и сортируются.

В зависимости от типа боеприпасы сортируют в такой последовательности:

а) выстрелы патронного заряжания — по индексу на гильзе (назначению выстрелов), по маркировке боевых зарядов, по типу взрывателей и по весовым знакам на снарядах;

б) выстрелы раздельного гильзового заряжания: снаряды — по индексу (назначению снарядов), по типу взрывателей и по весовым знакам; боевые заряды — по индексу (назначению заряда), по марке, партии, году, месту изготовления пороха и по партии, году, месту сборки боевого заряда;

в) минометные выстрелы сортируются так же, как и выстрелы раздельного гильзового заряжания;

г) реактивные снаряды — по индексу (назначению снаряда), по партии, году, месту изготовления пороха, по баллистическому индексу и по весовым знакам, если они имеются.

После этого выстрелы должны быть уложены в сухом месте на подстилку из подручного материала, укрыты от дождя, снега, солнечных лучей, песка и пыли и тщательно замаскированы от наземного и воздушного наблюдения противника в погребках, нишах или ровиках.

При заряжании орудия нужно следить за тем, чтобы снаряды и гильзы были чистыми и сухими, а в канале ствола отсутствовали грязь, песок и другие предметы.

Стрелять боеприпасами, которые упали с высоты более одного метра, запрещается, так как в этом случае взрыватель может взвестись.

Устанавливать вид действия взрывателя, а также свинчивать предохранительные колпачки и герметизирующие колпаки следует непосредственно перед заряжанием.

По окончании стрельбы все израсходованные боеприпасы, стреляные гильзы, колпачки от взрывателей, капсюльные втулки, давшие осечку, пучки пороховых зарядов и порожняя укупорка должны быть сданы на склад боеприпасов части.

Боеприпасы, которые были подготовлены к стрельбе, нужно привести в исходное состояние.

Стреляные гильзы в целях их дальнейшей сохранности необходимо очистить от порохового нагара и смазать по всей поверхности снаружи и внутри дизельным топливом, а при отсутствии — пушечной смазкой.

К неисправным боеприпасам, которые нельзя допускать к стрельбе, относятся снаряды с полностью или частично вывинтившимся из очка взрывателем, с взрывателем, имеющим следы повреждений или поврежденную мембрану, с взрывателем, имеющим основную установку на походное крепление (типа КТД), но поступившим на огневую позицию с боевой установкой, а также снаряды, имеющие течь взрывчатого вещества в виде маслянистой жидкости.

К опасным в обращении боеприпасам, хранение которых в войсках запрещено, относятся:

— окончательно снаряженные выстрелы, снаряды и мины, подвергшиеся действию ударной волны при взрыве и огня при пожаре или имеющие следы механических повреждений от ударов, падения и т. д.;

— окончательно снаряженные снаряды, поступившие в войска с взрывателями, установленными не по-походному, или с механическими дистанционными взрывателями и трубками, основная установка у которых нарушена;

— стреляные снаряды и мины, неразорвавшиеся у цели.

Опасные в обращении боеприпасы, относящиеся к первым двум группам, уничтожаются подрывом после утверждения вышестоящим начальником акта на уничтожение в специально отведенном месте.

Стреляные и неразорвавшиеся снаряды и мины, как правило, наиболее опасны и поэтому подрываются на месте их падения.

РАЗДЕЛ III

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКЦИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

ГЛАВА 10

ОРУДИЙНЫЕ СТВОЛЫ

§ 10.1. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИЯ СТВОЛОВ

Стволы артиллерийских орудий предназначаются для направления движения снаряда, сообщения ему требуемой начальной скорости поступательного движения в зависимости от величины

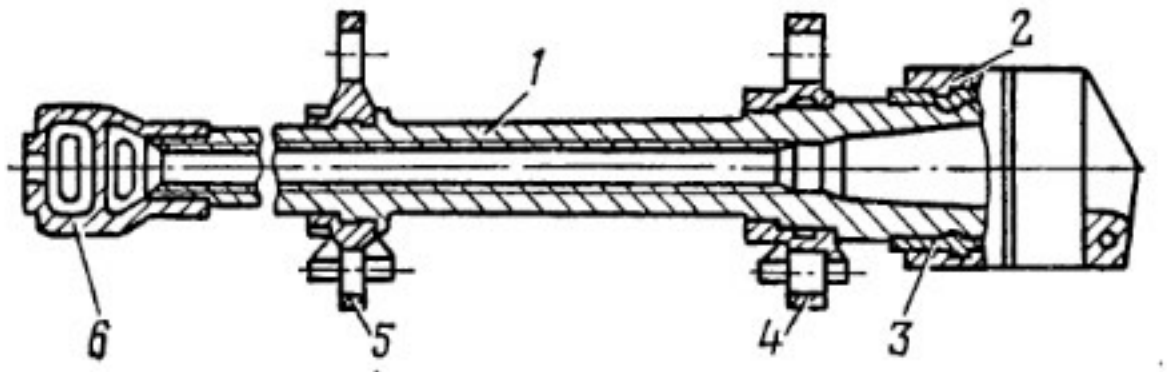


Рис. 10.1. Ствол:
1 — труба; *2* — казенник; *3* — соединительная муфта; *4* — задняя обойма; *5* — передняя обойма; *6* — дульный тормоз

боевого заряда. Нарезные стволы, кроме того, придают снаряду вращательное движение для стабилизации его полета на траектории. Ствол (рис. 10.1), как правило, состоит из трубы *1*, казенника *2*, дульного тормоза *6* и соединительных деталей *3*, *4*, *5*.

Труба *1* является основной частью ствола, ее передняя часть называется дульной, а задняя — казенной.

По наружной поверхности трубу разделяют на цилиндрический и конический участки. Цилиндрический участок трубы воспринимает наибольшее давление пороховых газов, поэтому стенки его делают бóльшей толщины, чем на коническом участке.

Переход от цилиндрического участка к коническому выполняют плавным, чтобы исключить появление концентрации напряжений при выстреле, которые возникают при резких переходах от одного сечения к другому. Так как давление пороховых газов падает к дульному срезу, то толщина стенок конического участка посте-

пенно уменьшается. При этом для обеспечения требуемой жесткости ствола толщина стенок трубы у дульной части должна быть не менее 0,1 калибра.

На дульном срезе трубы, а в некоторых и на казенном наносят две пары взаимно перпендикулярных рисок для фиксации положения перекрестия из нитей при проверке прицельных приспособлений.

Отверстие трубы называется каналом. Канал делится на камору и ведущую часть.

Камора предназначается для размещения боевого заряда, запоясковой части снаряда и является основным местом сгорания порохового заряда.

Устройство каморы зависит от способа заряжания. Для выстрела патронного заряжания камора (рис. 10.2, *а*) имеет форму, соответствующую форме гильзы, и состоит, как правило, из основного *1* и переходного *2* конусов, цилиндрической части *3* и соединительного конуса *4*. Конусность основного конуса выполняется в пределах 1/60—1/120, а переходного и соединительного — в пределах 1/10—1/20. Коническая форма каморы необходима для облегчения заряжания орудия и выбрасывания гильзы. Цилиндрическая часть каморы делается длиннее дульца гильзы на ширину ведущего пояска снаряда, чтобы он поместился между началом нарезов и передним срезом дульца. Длина каморы для выстрелов патронного заряжания $L_{кп}$, когда гильза упирается фланцем в трубу, определяется по формуле

$$L_{кп} = l_г + h + \Delta h,$$

где $l_г$ — длина гильзы;
h — ширина ведущего пояска;
Δh — допуск на изготовление гильзы и ведущего пояска.

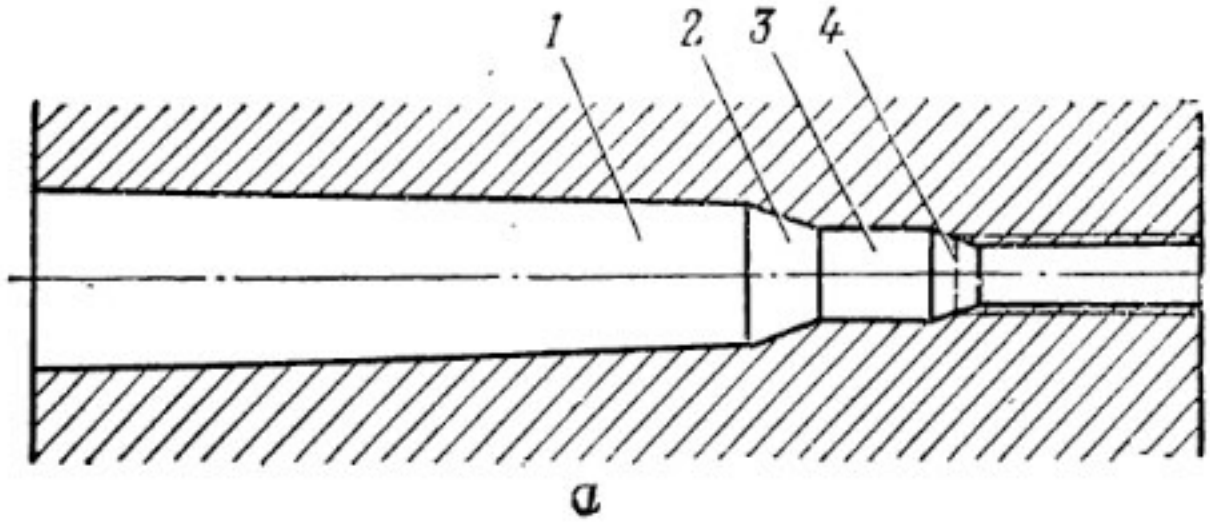
В орудиях, у которых применяются выстрелы как патронного, так и раздельно-гильзового заряжания, например горная 76-мм пушка М-99, ствол имеет камору для патронного заряжания.

Камора для выстрелов раздельно-гильзового заряжания (рис. 10.2, *б*) может состоять из основного *1* и переходного *2* конусов. Соответственно конусность их выполняется в пределах 1/75—1/120 и 1/10—1/20. В основном конусе помещается гильза. Чтобы гильза упиралась фланцем в казенный срез трубы, длина ее делается меньше длины основного конуса. Соединительный конус предназначается для соединения каморы с ведущей частью канала и служит для заклинивания снаряда при заряжании и для облегчения врезания ведущего пояска при выстреле.

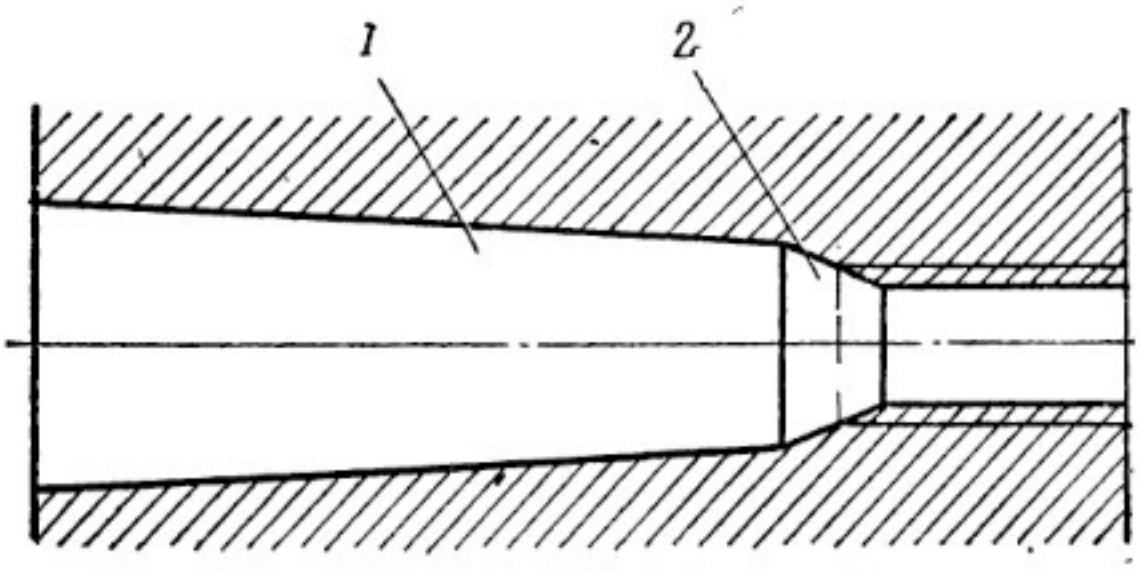
Полный объем каморы $W_{кам}$ определяется как сумма объемов, т. е.

$$W_{кам} = W_0 + W_г + W_{сн},$$

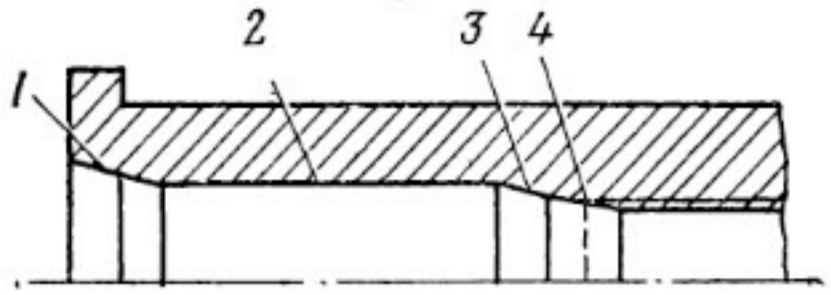
где W_0 — объем каморы, полученный в результате баллистического расчета;



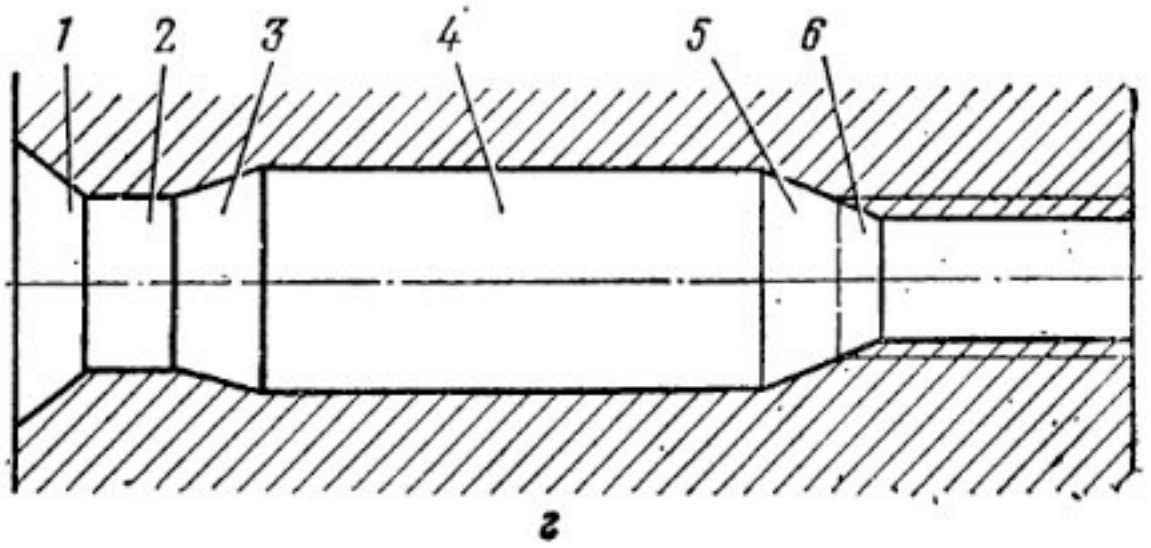
а



б



в



г

Рис. 10.2. Типы камор:

а — камора для выстрела патронного заряжания: *1* — основной конус; *2* — переходный конус; *3* — цилиндрическая часть; *4* — соединительный конус

б — камора для выстрела раздельно-гильзового заряжания: *1* — основной конус; *2* — соединительный конус

в — камора для выстрела раздельного картузного заряжания: *1* — обтюрирующий конус; *2* — цилиндрическая часть; *3* — переходный конус; *4* — соединительный конус

г — камора для выстрела раздельного картузного заряжания: *1* — обтюрирующий конус; *2* — горловина; *3* и *5* — переходные конусы; *4* — цилиндрическая часть; *6* — соединительный конус

$W_г$ — объем материала гильзы (картуза), который примерно равен (0,03—0,05) $W_к$;

$W_{сн}$ — объем запоясковой части снаряда ($W_{сн} \simeq 0{,}562\ d^2$).

Камора для выстрелов раздельного картузного заряжания (рис. 10.2, *в*) современных орудий состоит из обтюрирующего конуса *1*, цилиндрической части *2*, переходного *3* и соединительного *4* конусов.

Обтюрирующий конус предназначен для поджатия к нему пластического обтюратора затвора и выполняется с конусностью 1/2—1/1,7.

Цилиндрическая часть предназначена для помещения картуза с боевым зарядом. Переходный конус облегчает заряжание орудия, исключая утыкание снаряда, и выполняется с конусностью 1/10—1/20.

Каморы для выстрелов раздельного картузного заряжания старых образцов (рис. 10.2, *г*) кроме основных элементов имеют горловину *2* для уменьшения усилий, действующих на затвор при выстреле. Отрицательной стороной наличия горловины является то, что диаметр картуза с боевым зарядом приходится делать меньше диаметра каморы, а это не дает возможности осуществить достаточно большие плотности заряжания.

Ведущая часть канала предназначается для направления полета снаряда и для сообщения ему требуемой скорости поступательного движения в зависимости от боевого заряда.

Ведущие части бывают гладкостенными и нарезными. Гладкостенная ведущая часть канала представляет собой цилиндрическое отверстие равного диаметра и предназначается для направления движения снаряда, стабилизация которого на полете осуществляется аэродинамическим способом.

Нарезные ведущие части кроме сообщения снаряду поступательного движения придают ему и вращательное движение, так как по ее стенкам сделаны винтовые углубления — нарезы. Нарезная ведущая часть обеспечивает лучшее центрирование снаряда и более надежную обтюрацию пороховых газов между снарядом и стенками ствола. Но вместе с тем такие ведущие части уменьшают живучесть ствола с возрастанием мощности орудия и ограничивают могущество действия снаряда по цели, так как из-за трудности обеспечения устойчивого полета длину его делают не более 5,5 калибра.

В отечественной артиллерии принята правая нарезка, т. е. такая, у которой, если смотреть со стороны казенной части, нарезы идут слева вверх направо, поэтому при движении по нарезной части снаряд получает вращение по ходу часовой стрелки.

Нарезы характеризуются крутизной, профилем и глубиной нарезки. Крутизна нарезки определяется углом наклона нареза α. Углом наклона нареза α называется угол, заключенный между касательной к нарезу и образующей ведущей части канала ствола. Нарезы делаются с углом $\alpha = 5 \div 15°$.

В современных стволах применяются нарезы постоянной и прогрессивной крутизны. Нарезы постоянной крутизны (рис. 10.3, *а*) имеют $\alpha = \text{const}$ по всей длине ствола, а нарезы прогрессивной крутизны (рис. 10.3, *б*) имеют угол наклона α, увеличивающийся к дульной части. Иногда в стволах могут применяться нарезы сме-

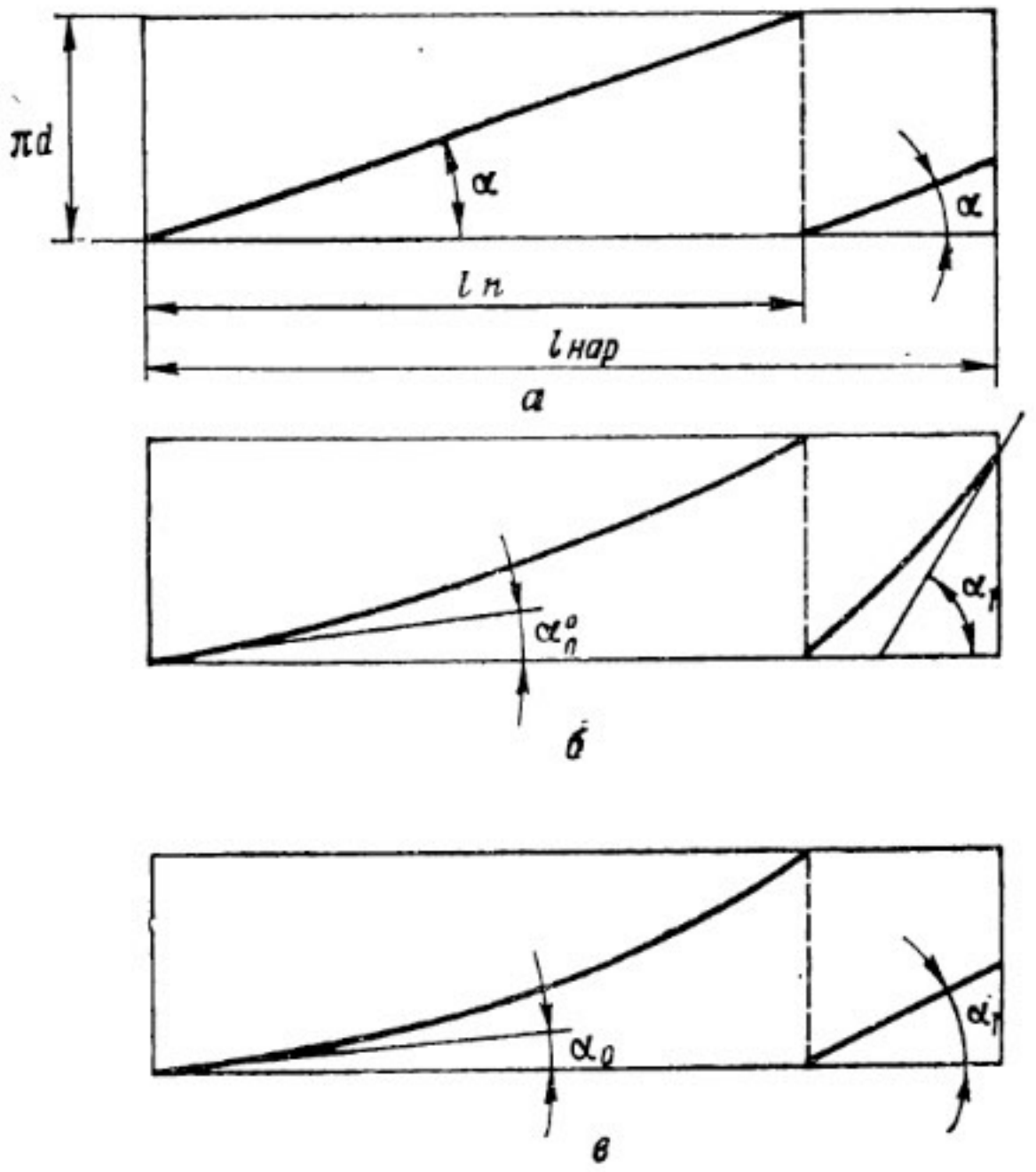


Рис. 10.3. Развертка нарезов:
а — постоянной крутизны; *б* — прогрессивной крутизны;
в — смешанной крутизны

шанной крутизны (рис. 10.3, *в*), в которых есть участок прогрессивной и постоянной крутизны.

Крутизну нареза кроме угла наклона α характеризуют еще длиной хода нареза. Длиной хода нареза называют расстояние по оси канала ствола, на котором нарез с постоянным углом наклона α делает или может сделать один оборот. Длина хода нареза η измеряется в калибрах, т. е.

$$\eta = \frac{l_n}{d}, \qquad (10.1)$$

где l_n — длина хода нареза, мм;
d — калибр ствола, мм.

Из рис. 10.3, *а* видно, что

$$l_n = \frac{\pi \cdot d}{\operatorname{tg} \alpha}. \qquad (10.2)$$

Подставляя значение l_n из формулы (10.2) в зависимость (10.1) и произведя сокращение на d, получим

$$\eta = \frac{\pi}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

Для нарезов постоянной крутизны длина хода нареза — величина постоянная по всей длине ведущей части, а для нарезов прогрессивной крутизны длина хода нарезов в каждой точке будет своя, так как угол α по длине ствола непрерывно меняется. Поэтому для характеристики нарезки прогрессивной крутизны часто пользуются начальной η_0 и дульной $\eta_д$ длинами хода нарезки.

Начальная длина хода нарезов

$$\eta_0 = \frac{\pi}{\operatorname{tg}\alpha_0},$$

где α_0 — угол наклона нареза в начале нареза.

Дульная длина хода нареза

$$\eta_д = \frac{\pi}{\operatorname{tg}\alpha_д},$$

где $\alpha_д$ — угол наклона нареза в дульной части.

При выборе крутизны нарезов исходят из выполнения двух противоречивых требований: обеспечения прочности ведущего пояска и устойчивости снаряда на полете.

Для исключения срыва ведущего пояска с нарезов крутизну их следует делать как можно меньше, а для улучшения устойчивости полета снаряда крутизну нарезов необходимо увеличивать.

Вначале определяют крутизну нарезов, исходя из условия обеспечения устойчивости снаряда на полете. При этом величина хода нарезов в калибрах в дульной части $\eta_д$ определяется по формуле Забудского — Вентцеля, которая имеет следующий вид:

$$\eta_д = a\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{\lambda C_q}{\frac{C}{A}\cdot\frac{h}{d}k_{\mu_0}}},$$

где $a = 0{,}85 \div 0{,}95$ — коэффициент устойчивости;

$\lambda = 0{,}56 \div 0{,}68$ — коэффициент, характеризующий распределение массы снаряда относительно его оси;

A — полярный момент инерции снаряда;

C — экваториальный момент инерции снаряда;

$\frac{h}{d}$ — условное плечо аэродинамического момента снаряда;

C_q — коэффициент веса снаряда.

$$\frac{h}{d} = \frac{h_1}{d} + 0{,}57\frac{h_г}{d} - 1{,}16,$$

где h_1 — высота головной части снаряда;
$h_г$ — расстояние от центра тяжести снаряда до основания головной части снаряда.

Значение коэффициента k_{μ_0} определяется по формуле

$$k_{\mu_0} = k_{\mu\,(4,5)} \sqrt{\frac{L}{4,5d}},$$

где L — длина снаряда;
$k_{\mu\,(4,5)}$ — коэффициент для снаряда, имеющего длину 4,5 калибра; определяется по табл. 10.1.

Таблица 10.1

v_0 м/с	700	740	780	800	850	900	1000	1050	1100	1150	1500
$k_{\mu(4,5)} \cdot 10^3$	0,96	0,95	0,93	0,93	0,92	0,9	0,9	0,9	0,89	0,88	0,80

После определения в дульной части крутизны нарезки выбирают ее вид. При этом руководствуются следующими соображениями. Считается, что прочность ведущего пояска обеспечивается, если угол наклона нареза $\alpha \leqslant 7°$. Следовательно, в этом случае можно делать нарезы постоянной крутизны.

Для обеспечения прочности ведущего пояска снаряда при $\alpha > 7°$ делают прогрессивную нарезку. Обычно этот вид нарезки применяют в стволах среднего и крупного калибров с небольшими начальными скоростями снарядов.

Величину начального угла прогрессивной нарезки α_0 рекомендуется выбирать такой, чтобы максимальные значения углового ускорения и ускорения поступательного движения снаряда не возникали одновременно. Кроме того, величина α_0 должна быть тем меньше, чем более быстрогорящим является порох.

При определении α_0 пользуются формулой Н. Ф. Дроздова

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_д} = 0,21 + 0,65\eta_1,$$

где $\eta_1 = \frac{p}{p_m}$ — мера бризантности пороха.

Уравнение кривой прогрессивной нарезки выражается функцией $y = f(x)$. Варьируя некоторыми параметрами этой функции, изменяют место приложения максимума силы нормального давления ведущего пояска снаряда на боевую грань нареза по каналу ствола.

Кривая нареза прогрессивной крутизны на развертке ствола чаще всего задается уравнением квадратичной параболы (рис. 10.4), начало координат которой и угол наклона $\alpha = 0$ находятся на продолжении нарезной части и удалены от нее на рас-

стояние x_0. Уравнение квадратичной параболы записывается в следующем виде:

$$y = px^2. \tag{10.3}$$

Для нахождения параметра p возьмем производную по x, получим

$$y' = 2px = \operatorname{tg}\alpha.$$

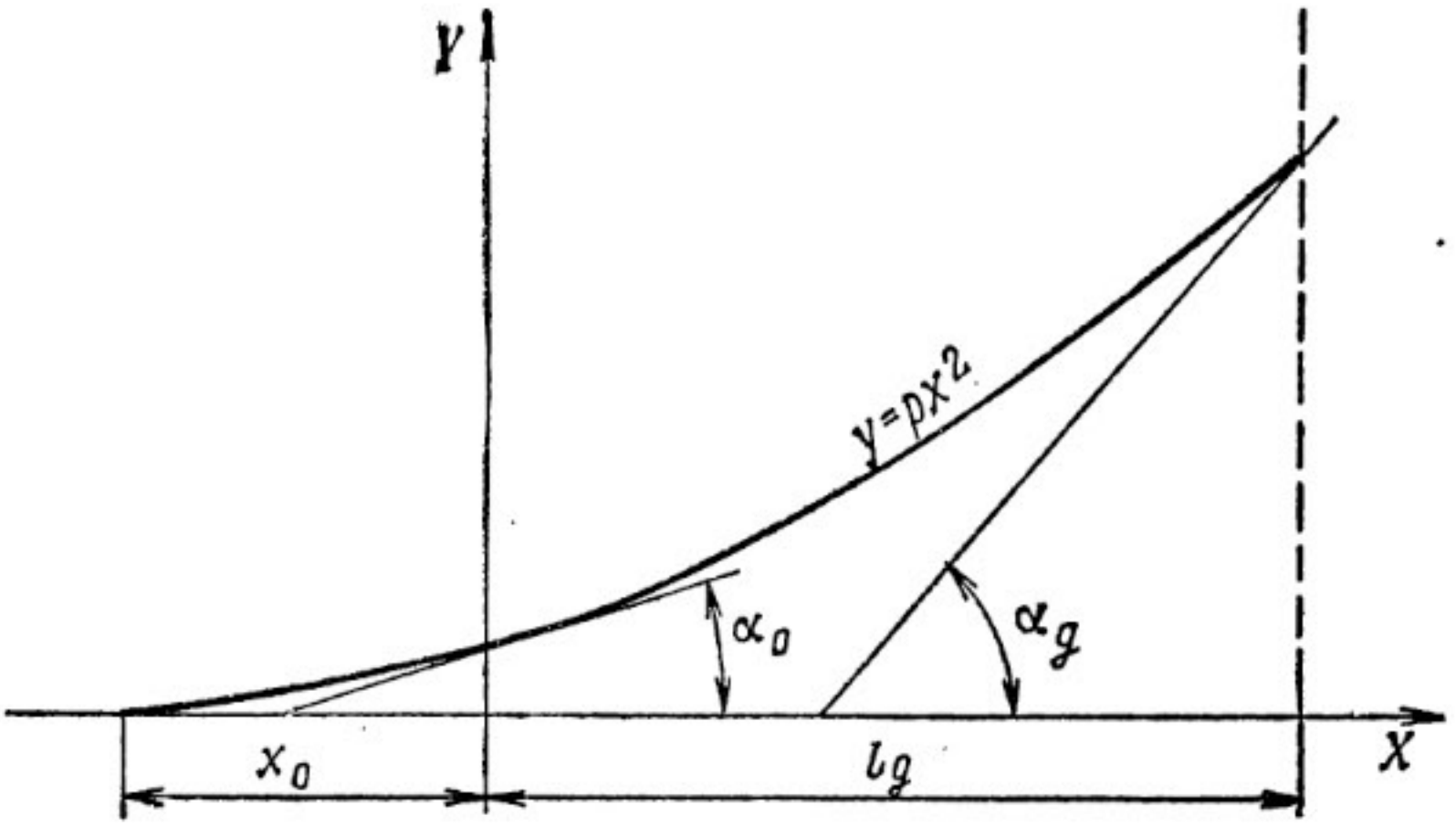


Рис. 10.4. Развертка нареза прогрессивной крутизны

Следовательно, при $x = x_0$ $\operatorname{tg}\alpha_0 = 2px_0$, а при

$$x = x_0 + l_д \quad \operatorname{tg}\alpha_д = 2p(l_д + x_0).$$

Откуда

$$\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0 = 2p(l_д + x_0) - 2px_0 = 2pl_д. \tag{10.4}$$

Из уравнения (10.4) находим p; подставив найденное значение в выражение (10.3), получим уравнение квадратичной параболы в следующем виде:

$$y = \frac{\operatorname{tg}\alpha_д - \operatorname{tg}\alpha_0}{2l_д} x^2.$$

Форма нарезов в поперечном сечении может быть различной (рис. 10.5), но независимо от этого нарезы имеют следующие элементы:

— дно нареза — это поверхность винтового углубления;

— грани нареза — это стенки нареза; грань нареза, непосредственно толкающая снаряд в направлении вращения, называется боевой, а противоположная ей грань называется холостой;

— поля — выступы, образуемые гранями нарезов; расстояние между противоположными полями, измеренное по диаметру, называется калибром;

— глубина нарезов t определяется полуразностью диаметров по дну и по полю нарезов, т. е.

$$t = \frac{d_н - d}{2};$$

— ширина нареза a — это расстояние по прямой (в плоскости сечения, перпендикулярной оси канала ствола) между гранями, ограничивающими один нарез;

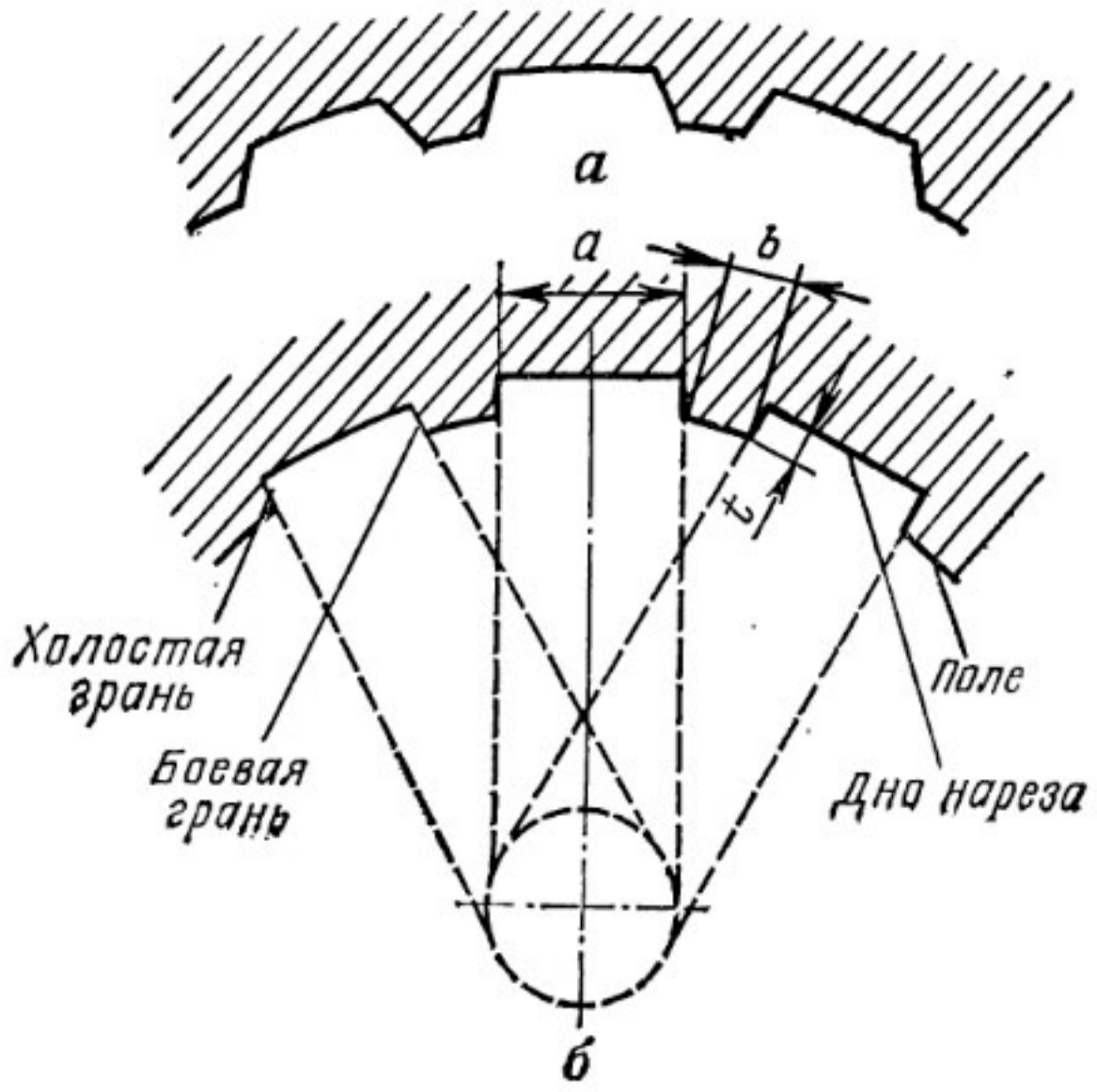


Рис. 10.5. Формы нарезов:
а — трапецеидальная; *б* — прямоугольная

— ширина поля b — это расстояние по прямой между соседними гранями нарезов.

В современных орудиях наиболее распространены нарезы прямоугольной формы (рис .10.5, *б*), т. е. такие нарезы, грани которых параллельны радиусу, проведенному через середину дна нареза. Нарезы прямоугольной формы более просты в изготовлении, хотя они не совсем рациональны, так как при движении снаряда между гранями нареза и выступами ведущего пояска образуются зазоры, в которые прорываются пороховые газы, что приводит к эррозионному разрушению стенок. Для устранения этого недостатка нарезы иногда делают уменьшающимися к дульной части по ширине и глубине. Такие нарезы называются нарезами с возрастающим форсированием.

При определении размеров и числа нарезов стремятся обеспечить легкое врезание ведущего пояска и надежное ведение снаряда по каналу ствола. Для облегчения врезания ведущего пояска необходимо уменьшать число нарезов, а надежное ведение сна-

ряда по каналу требует увеличения числа и глубины нарезов. Требования эти противоречивы, поэтому число и размеры нарезов выбирают в зависимости от начальной скорости и массы снаряда, а также от качества материала и формы ведущего пояска.

Ширина нареза определяется из условия равнопрочности выступов ведущего пояска и полей канала ствола. Например, если ведущий поясок изготовлен из меди, прочность которой в 1,5—2,5 раза меньше прочности материала ствола, то ширина нарезов делается в 1,5—2,5 раза больше ширины поля, т. е.

$$\frac{a}{b} = 1{,}5 \div 2{,}5.$$

Число нарезов в канале ствола n вычисляется по формуле

$$n = \frac{\pi d}{a + b},$$

где $a+b=(10\div15)$ мм.

Полученная величина n округляется до числа, кратного четырем.

Глубина нарезов t выбирается в зависимости от начальной скорости артиллерийского орудия следующим образом:

— для орудий с $v_0<800$ м/с $t=(0{,}01\div0{,}015)\,d$;

— для орудий с $v_0>800$ м/с $t=(0{,}015\div0{,}04)\,d$.

Нарезы с $t=0{,}01\,d$ называют нормальными (однопроцентными), с $t=0{,}015\,d$ — углубленными, а с $t=(0{,}02\div0{,}04)\,d$ — глубокими (двухпроцентными).

Увеличение глубины нарезов повышает живучесть стволов, но при этом несколько уменьшает дальность стрельбы. Так, например, глубина нарезки $t=0{,}02\,d$ вместо $t=0{,}01\,d$ увеличивает живучесть ствола примерно в два раза, а дальность полета снаряда уменьшается примерно на 2—3%.

Для увеличения прочности нарезки и для облегчения чистки каналов стволов углы нарезов и полей закругляют радиусом

$$r_1 = \frac{t}{2\div3} \text{ мм}.$$

Нарезная ведущая часть соединена с каморой соединительным конусом. Примерно на 2/3 его длины сделаны нарезы, глубина которых постепенно увеличивается и достигает полной величины по окончании конусности. Нарезы должны начинаться в одном сечении, перпендикулярном оси канала ствола. Это обеспечивает полное перекрытие канала ведущим пояском, что исключает прорыв газов и односторонний размыв внутренней поверхности ствола.

Казенником называется часть ствола, снабженная гнездом для размещения затвора и совместно с ним предназначенная для надежного и прочного запирания канала ствола. Кроме того, казенник может служить для соединения ствола с противооткатными

устройствами и участвовать в направлении его движения при откате и накате по полозкам люльки.

По способу соединения с трубой казенники классифицируются на навинтные, ввинтные и выполненные заодно целое с трубой.

Навинтные казенники в свою очередь делятся на две группы: надеваемые на трубу без вращения и соединяющиеся с ней с помощью муфты (рис. 10.6) и навинчивающиеся непосредственно на резьбу трубы. Преимущество казенников, надеваемых на трубу

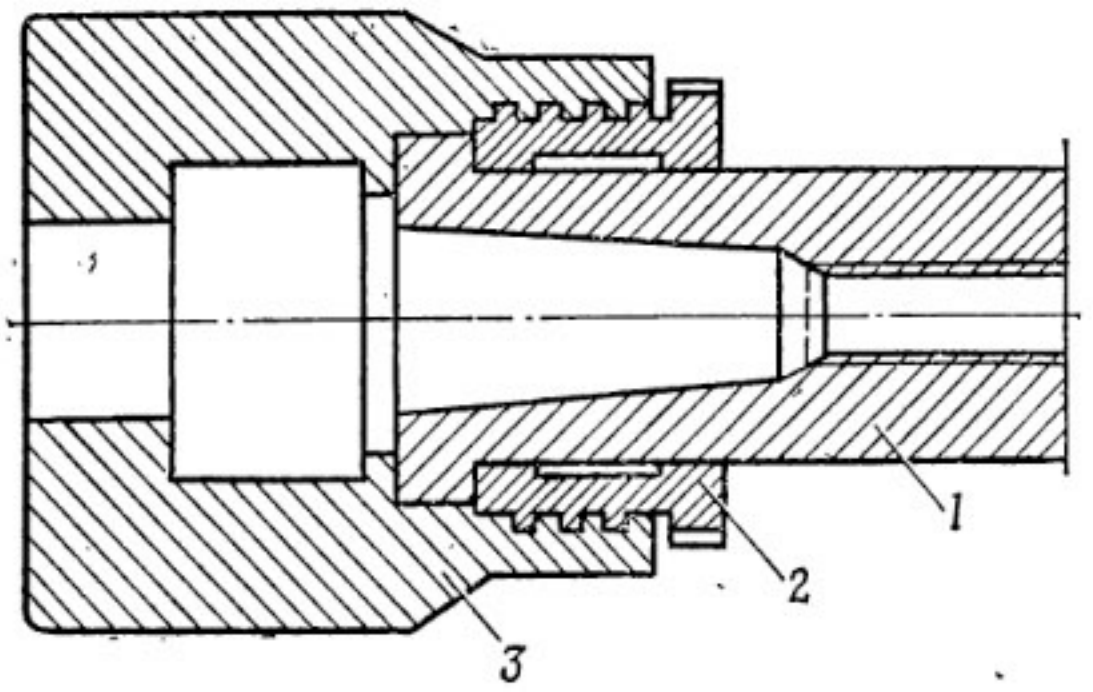


Рис. 10.6. Схема соединения казенника с трубой с помощью муфты:
1 — труба; *2* — соединительная муфта; *3* — казенник

без вращения, состоит в том, что при сборке легче обеспечить параллельность контрольной площадки и оси канала ствола, кроме того, в случае разборки нет необходимости вращать тяжелый казенник у орудий среднего и крупного калибров и при изготовлении требовать фиксированного захода резьбы.

Ввинтные казенники применяются у орудий крупного калибра (203-мм гаубицы Б-4М) и соединяются с трубой ствола с помощью резьбы.

Казенники, выполненные заодно целое с трубой, применяют у орудий малого калибра. В этом случае соединение трубы и казенника получается наиболее прочным, но технология изготовления таких стволов усложняется. Материалом для изготовления казенников является орудийная сталь с категорией прочности обычно не выше категории прочности материала трубы.

Соединительные детали предназначены для сборки ствола в одно целое и для соединения его с люлькой, а в некоторых случаях и для соединения с противооткатными устройствами. К соединительным деталям относятся передние и задние обоймы, соединительные муфты и другие детали.

Дульные тормоза предназначены для поглощения части энергии откатных частей при выстреле. Дульные тормоза соединяются с трубой или с помощью резьбы, или с помощью соединительных разъемных муфт или выполняются заодно с трубой.

Стволы артиллерийских орудий классифицируются по следующим основным признакам:

— по устройству стенок ствола;

— по наличию напряжения в стенках ствола;

— по форме и устройству канала ствола.

В зависимости от устройства стенок ствола различают следующие типы стволов:

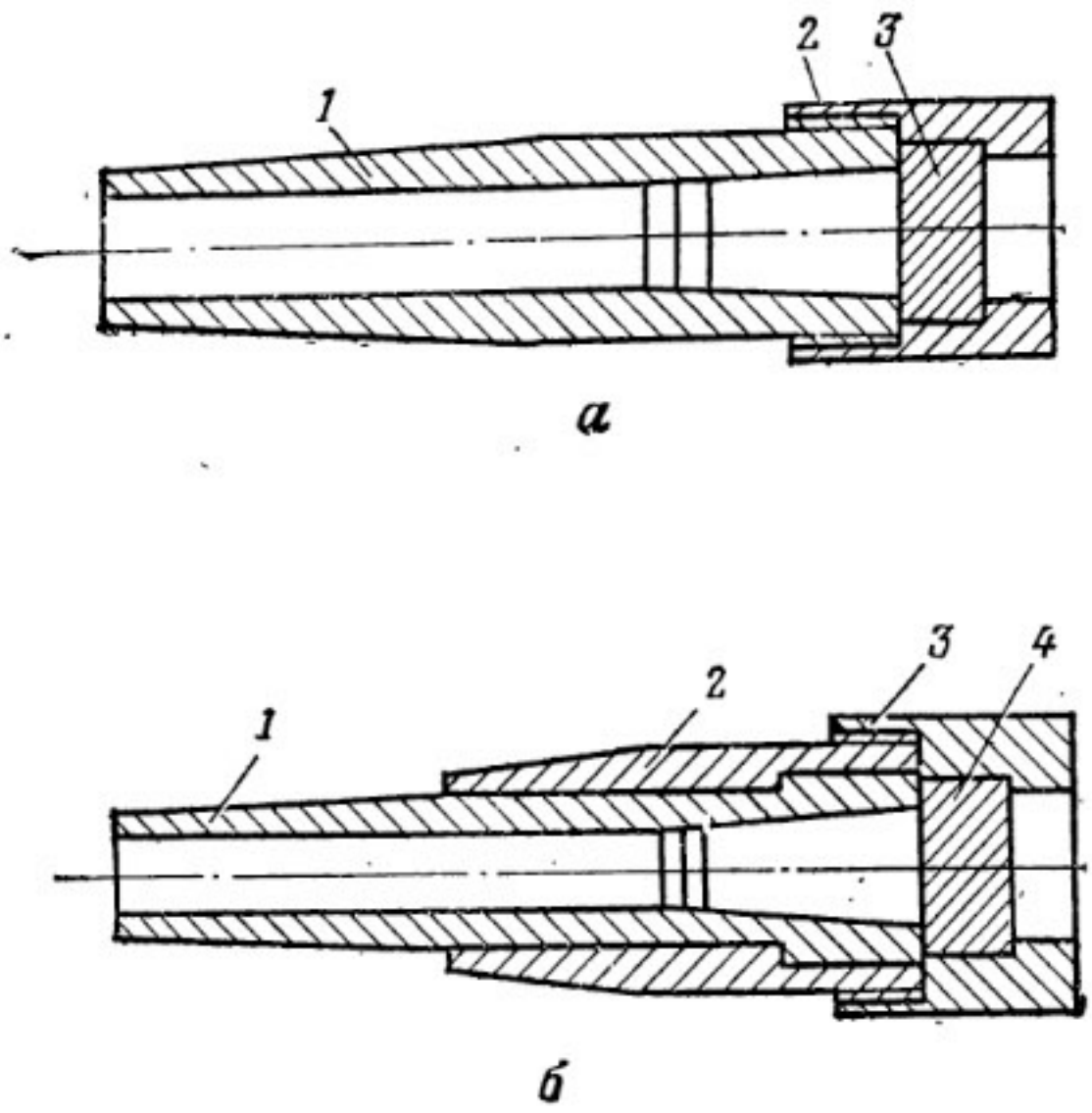


Рис. 10.7. Типы стволов:
а — ствол-моноблок: *1* — труба; *2* — казенник; *3* — затвор;
б — многослойный ствол: *1* — труба; *2* — кожух; *3* — казенник; *4* — затвор

— стволы-моноблоки;

— многослойные стволы.

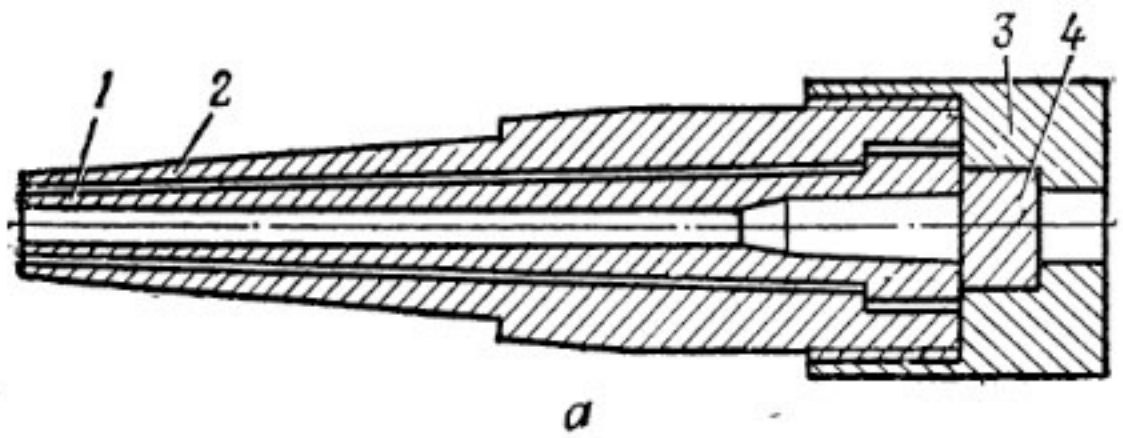
Стволы-моноблоки (рис. 10.7, *а*) — это стволы, труба *1* которых имеет однослойную стенку и изготовлена из одной заготовки. Такие стволы относительно просты по устройству и наиболее экономичны в производстве. Это является их важнейшим преимуществом перед другими типами стволов, особенно в военное время, когда необходимо обеспечивать ускоренный выпуск орудий.

Недостатком стволов-моноблоков является необходимость замены трубы в случае ее износа. Однако высокое качество орудийных сталей, получаемых нашей промышленностью, и строгое соблюдение эксплуатационных мер по повышению живучести обеспечивают достаточно длительный срок службы стволов-моноблоков, что делает несущественным присущий им недостаток.

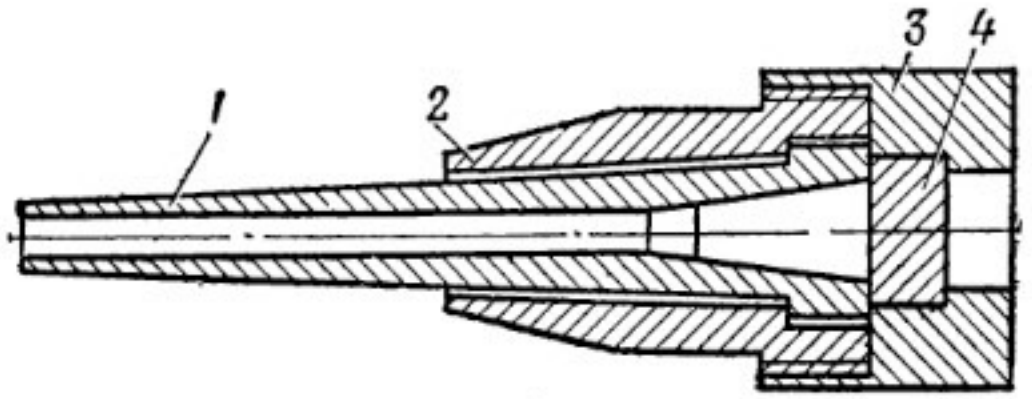
Многослойные стволы (рис. 10.7, *б*) — это стволы, стенки трубы *1* которых состоят из нескольких концентрических цилиндров равной или различной длины, надеваемых один на другой.

В зависимости от числа слоев стволы называют двухслойными, трехслойными и т. д. Внутренний слой *1* называют трубой, или первым слоем, а наружный *2* — кожухом, или оболочкой. Промежуточные слои нумеруют в возрастающем порядке.

Многослойные стволы, слои которых надевают друг на друга с зазором, выбирающимся при выстреле, подразделяются на стволы со свободным лейнером и со свободной трубой.



а



б

Рис. 10.8. Многослойные стволы:
а — ствол со свободным лейнером: *1* — лейнер; *2* — оболочка; *3* — казенник; *4* — затвор; *б* — ствол со свободной трубой; *1* — труба; *2* — кожух; *3* — казенник; *4* — затвор

Ствол со свободным лейнером (рис. 10.8, *а*) — это двухслойный ствол, внутренний слой которого, называемый лейнером *1*, полностью покрыт оболочкой *2* с зазором.

Ствол со свободной трубой (рис. 10.8, *б*) также двухслойный, но внутренний его слой, называемый свободной трубой *1*, покрыт кожухом *2* лишь на части ее длины. В связи с этим свободная труба имеет более толстые стенки и массу в 1,5—2 раза бóльше массы лейнера.

Величина зазора между внутренним и наружным слоями задается из условия обеспечения прочности ствола при выстреле и возможности замены внутреннего слоя без применения сложного специального оборудования.

У существующих стволов зазор колеблется в пределах 0,05—0,20 мм для орудий среднего калибра и 0,15—0,30 мм для орудий крупного калибра. Для легкости разборки ствола наружная поверхность лейнера делается с конусностью 0,002—0,004.

При выстреле лейнер или свободная труба под действием силы давления пороховых газов расширяется, выбирая зазор между

слоями, и при дальнейшем возрастании давления работает вместе с кожухом. После выстрела зазор между лейнером (свободной трубой) и кожухом восстанавливается.

Стволы со свободной трубой или со свободным лейнером имеют следующие достоинства:

— возможность восстановления ствола при износе стенок канала заменой внутреннего слоя трубой или лейнером;

— наиболее рационально используется дорогостоящая сталь с высокими механическими свойствами (для изготовления наиболее нагруженного слоя — трубы применяют сталь с высокими механическими свойствами, а для изготовления оболочки — менее прочную сталь).

Основными недостатками стволов со свободной трубой (лейнером) являются сложность и объемность процессов их изготовления.

В некоторых орудиях применяются стволы с трубой-моноблоком, вставленной в кожух с зазором, который при выстреле не выбирается (ствол М-30), поэтому всю нагрузку от давления пороховых газов воспринимает труба-моноблок. Кожух служит только для увеличения массы откатных частей в целях уменьшения длины отката.

По наличию напряжения в стенках трубы стволы делятся на нескрепленные и скрепленные.

Нескрепленные стволы — это такие, в стенках трубы которых до выстрела отсутствуют какие-либо напряжения. К ним относятся все многослойные стволы с зазором между слоями, а также стволы-моноблоки, если в их трубах до выстрела нет напряжений.

Скрепленные стволы — это такие стволы, которые еще до выстрела имеют искусственно созданные напряжения в стенках трубы. Один из способов искусственного создания напряжений в стенках многослойного ствола основан на свойстве металлов изменять свои размеры при нагревании. Сущность этого способа состоит в том, что на внутренний слой надевают предварительно нагретый до температуры 670° К следующий слой (назовем его кожухом), диаметр отверстия которого в холодном состоянии меньше наружного диаметра внутреннего слоя. При охлаждении размеры кожуха уменьшаются, в результате этого он обжимает внутренний слой, образуя в его стенках напряжения от сжатия; в свою очередь внутренний слой, действуя на кожух, вызывает в его стенках напряжения от деформации растяжения. Таким способом создают скрепленные стволы с различным количеством слоев. Предварительно напряженное состояние стенок ствола более равномерно нагружает все слои во время выстрела, т. е. повышает прочность ствола.

Такое скрепление позволяет увеличить прочность ствола, не меняя качество стали, или уменьшить вес, не изменяя прочность ствола. Основной недостаток такого способа скрепления — это сложность и дороговизна производства стволов. Поэтому рассмо-

тренный способ скрепления применяется преимущественно в орудиях крупного калибра и для изготовления стволов со скрепленным лейнером.

Скрепленный лейнер вставляется в кожух с малым натяжением (при температуре нагрева кожуха до 410—425° К), при котором образуется сила трения, обеспечивающая закрепление лейнера от смещения вперед при выстреле. Смена скрепленных лейнеров может быть произведена только на заводе.

Искусственно напряжения в стенках ствола-моноблока создаются способом автофретирования. Сущность автофретирования состоит в том, что в канале заготовки трубы ствола создают давление, превышающее предел упругости металла, при этом внутренние слои получают пластические деформации, а внешние — упругие.

После снятия давления наружные слои, получившие упругие деформации, стремятся принять прежние размеры, но этому препятствуют внутренние слои, получившие пластические деформации и размеры которых увеличились по сравнению с начальными на величину остаточной деформации. В результате в стенках трубы создаются напряжения, аналогичные тем, которые возникают при скреплении ствола большим числом слоев.

При автофретировании наряду с созданием внутренних напряжений получается упрочение металла внутренних слоев трубы за счет явления наклепа. Недостаток скрепления ствола автофретированием заключается в том, что технология скрепления довольно сложна и требует особой аппаратуры. Кроме того, при повышенных режимах огня, когда происходит нагрев ствола выше 750° К, напряжения самокрепления исчезают и ствол превращается в обычный нескрепленный ствол-моноблок.

В зависимости от форм и устройства канала существуют следующие конструкции стволов:

— нарезные цилиндрические;
— гладкостенные цилиндрические;
— цилиндро-конические комбинированные с цилиндрической нарезной частью и конической гладкой частью у дула;
— нарезные конические.

Наибольшее распространение получили нарезные цилиндрические стволы, так как их значительно проще и дешевле изготовлять по сравнению с другими конструкциями нарезных стволов, в то же время они обеспечивают хорошую устойчивость снаряда, а следовательно, и хорошую кучность боя.

К стволам как главному узлу артиллерийского орудия предъявляются следующие основные требования:

1. Ствол должен быть достаточно прочным, так как он подвергается действию высокого давления газов. Прочность ствола считается достаточной, если после выстрела в стенках его независимо от условий эксплуатации (нагрев ствола, изменение условий заряжания в допустимых руководящими документами пределах) не возникают остаточные деформации. Прочность ствола

обеспечивается качеством материала и соответствующими размерами стенок трубы, определенными расчетом.

2. Ствол должен быть оптимально жестким. Жесткость ствола оценивается стрелой прогиба под действием собственного веса и величиной вибрации стенок трубы при выстреле и от выстрела к выстрелу. Оптимальная жесткость обеспечивается рациональными размерами ствола. Как правило, стволы делают длиной не более 70—100 калибров при радиусе кривизны не менее 600 м и разностенности в каждом поперечном сечении не более 3 мм.

3. Ствол должен обладать большой живучестью, которая обеспечивается как конструктивными, так и эксплуатационными мероприятиями.

Живучесть ствола оценивается количеством выстрелов, которое можно сделать из него до полной потери им своих баллистических характеристик (давления, скорости, кучности).

4. Конструкция ствола в зависимости от величины боевого заряда должна обеспечивать заданную начальную скорость и устойчивость снаряда в полете. Это требование выполняется конструктивными мерами.

5. Устройство ствола должно обеспечивать простоту и экономичность его производства и эксплуатации.

Кроме перечисленных основных требований к стволам могут предъявляться специальные требования, связанные с назначением и особенностями эксплуатации орудия.

§ 10.2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА СТВОЛ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

При выстреле в стволе создается высокое давление пороховых газов, под действием силы которого приводится в движение система ствол — снаряд. Кроме того, между элементами этой системы возникают силы взаимодействия. В свою очередь движение ствола тормозится силами сопротивления откату.

Все силы, действующие на ствол при выстреле, можно разделить на следующие:

— силы давления пороховых газов;
— силы взаимодействия снаряда со стволом;
— сила, производящая откат ствола;
— сила сопротивления откату;
— сила инерции откатных частей, возникающая вследствие неравномерного движения ствола.

Силы давления пороховых газов действуют на внутренние поверхности стенок ствола и направлены нормально к этим поверхностям. Рассмотрим действие этих сил на стенки трубы, скаты каморы и дно канала ствола.

Силы давления пороховых газов на стенки ствола стремятся изменить его диаметральные размеры, т. е. деформировать стенки ствола, не вызывая его перемещения вдоль оси, так как равнодействующая этих сил на ось канала равна нулю. Величина этих сил определяется баллистическим давлением пороховых газов p.

Анализ графика зависимости баллистического давления пороховых газов p от пути движения снаряда в канале ствола (рис. 10.9) показывает, что при движении снаряда сила давления пороховых газов переменна по длине ствола. Наибольшая величина этой силы действует на стенки трубы, расположенные между казенным срезом и опорной точкой m. По величине сил давления пороховых газов рассчитывают стенки ствола на прочность.

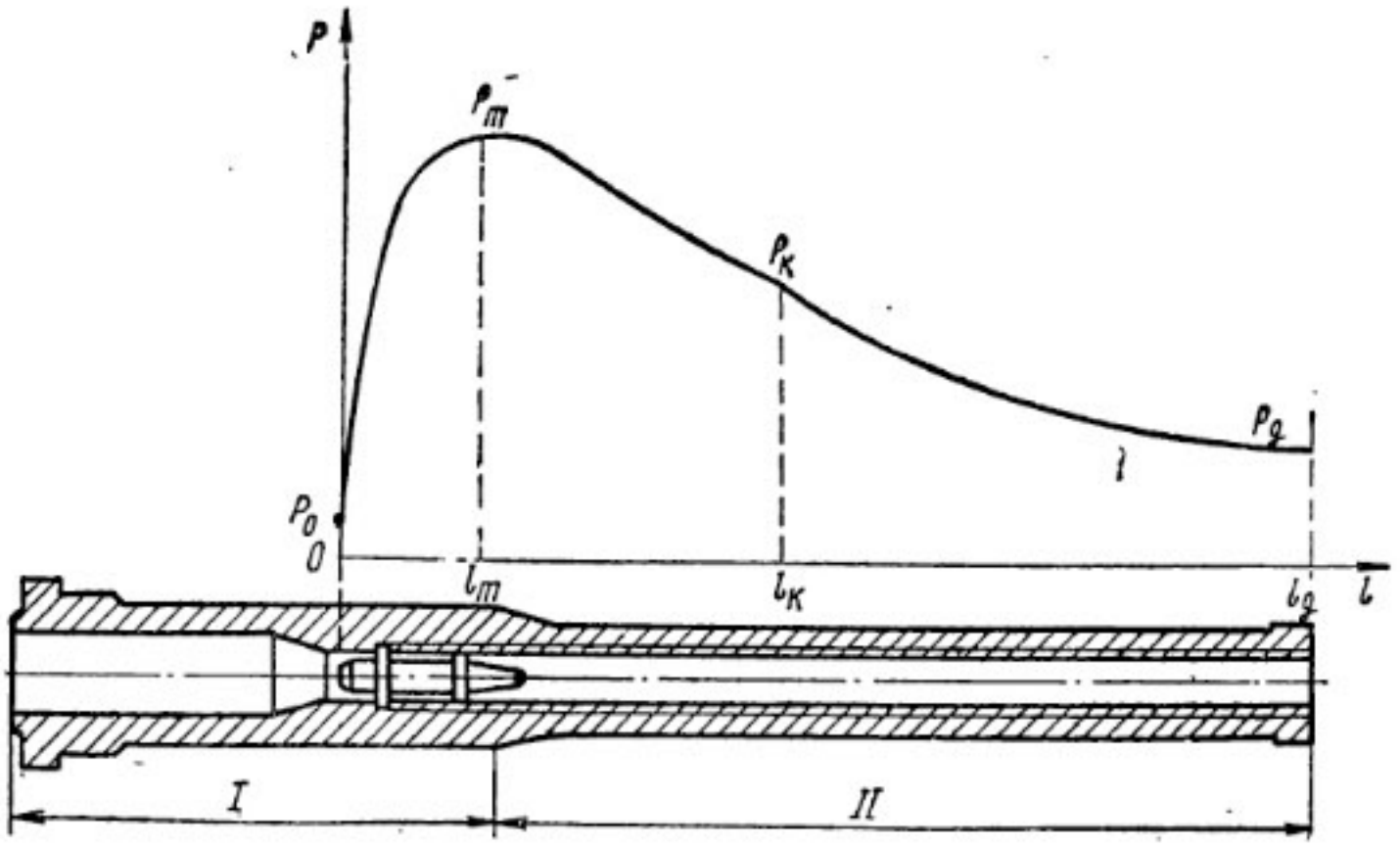


Рис. 10.9. График зависимости $p=p(l)$

Силы давления пороховых газов на дно канала направлены параллельно оси ствола, и равнодействующая их называется силой, действующей на дно канала ствола:

$$P_{дн}=p\frac{\pi d_{дн}^2}{4}, \qquad (10.5)$$

где $d_{дн}$ — диаметр дна канала ствола.

Сила $P_{дн}$ используется для расчета деталей затвора и щек казенника на прочность.

Равнодействующая сил давления пороховых газов на скаты каморы $P_{ск}$ возникает вследствие разницы диаметров дна и ведущей части канала ствола с учетом нарезов. Эта сила направлена по оси канала к дульной части и называется силой, действующей на скаты каморы $P_{ск}$. Величина ее определяется по формуле

$$P_{ск}=p\left(\frac{\pi d_{ди}^2}{4}-\kappa_S d^2\right), \qquad (10.6)$$

где κ_S — коэффициент, учитывающий наличие нарезов в канале ствола.

Силы $P_{дн}$ и $P_{ск}$ являются основными силами, под действием которых совершается откат ствола. Для орудий среднего калибра величина их составляет несколько миллионов ньютонов. Так, например, для 130-мм пушки М-46 силы $P_{дн}=7{,}6\cdot10^6$ Н, а $P_{ск}=3{,}34\cdot10^6$ Н.

К силам взаимодействия снаряда со стволом относятся силы, возникающие в результате:

— радиального давления ведущего пояска снаряда на стенки ствола;

— давления ведущего пояска снаряда на боевые грани нарезов;

— движения снаряда по каналу ствола, имеющему кривизну в допустимых пределах;

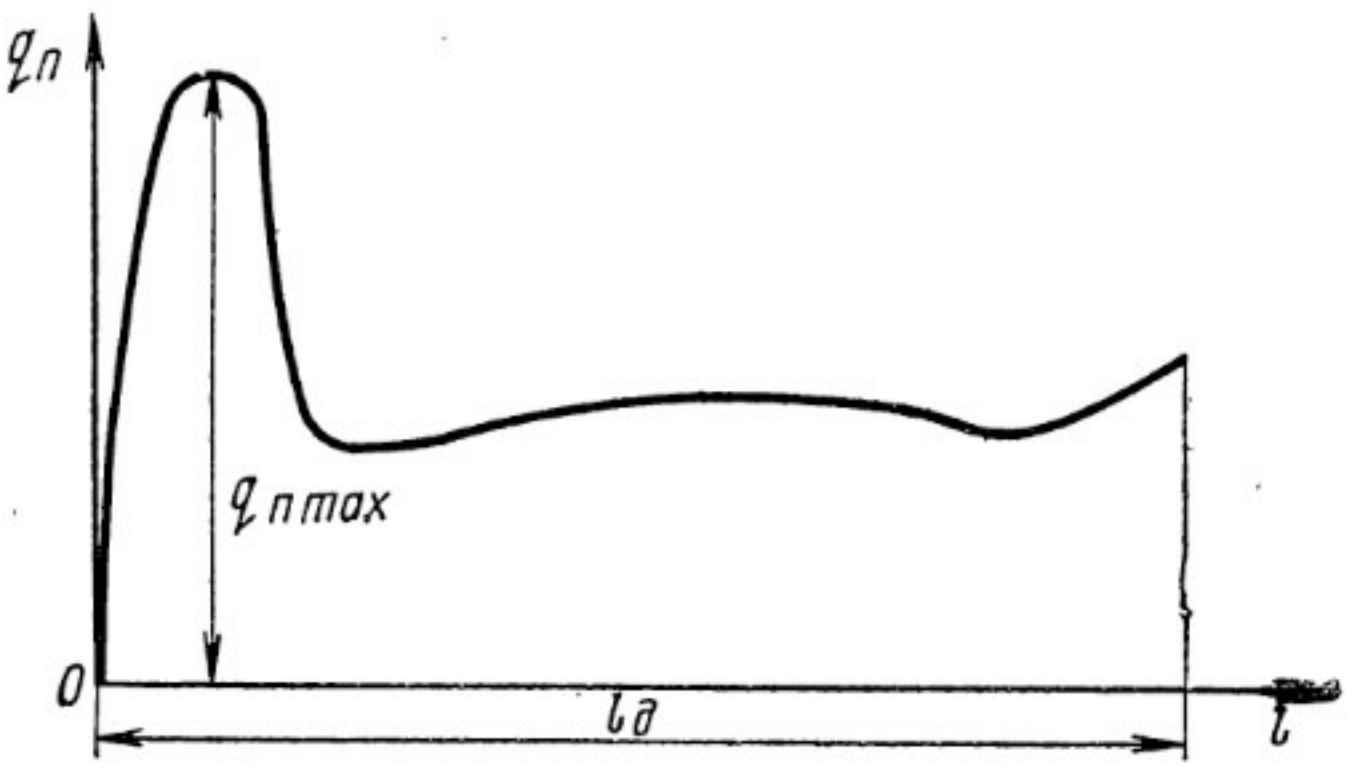


Рис. 10.10. График зависимости силы радиального давления от пути снаряда по каналу ствола

— движения статически и динамически неуравновешенного снаряда по стволу.

Радиальное давление ведущего пояска на стенки ствола возникает вследствие разницы диаметров ведущего пояска и канала ствола. При вхождении в конический скат ведущий поясок снаряда обжимается, в результате в стенках ствола возникает давление q'. В момент врезания в нарезы за счет уплотнения и наплыва металла ведущего пояска создается дополнительное давление на стенки ствола q''. Следовательно, радиальное давление ведущего пояска на стенки ствола

$$q_п = q' + q''.$$

Из графика изменения силы $q_п$ в зависимости от пути снаряда по каналу ствола (рис. 10.10) видно, что радиальное давление ведущего пояска достигает своего максимума в момент полного врезания ведущего пояска в нарезы, после чего резко уменьшается величина $q_п$. Падение $q_п$ происходит вследствие увеличения диаметра канала из-за упругих деформаций стенок ствола под действием давления пороховых газов. В средней части ствола $q_п$ несколько возрастает за счет увеличения диаметра снаряда из-за деформации его корпуса под действием сил инерции и за счет уменьшения упругих деформаций стенок ствола из-за падения давления пороховых газов. В дульной части радиальное давление

возрастает ввиду уменьшения упругого расширения стенок из-за увеличения их толщины и вследствие падения давления пороховых газов.

Радиальное давление ведущего пояска оказывает сильное влияние на износ ствола. Это подтверждает одинаковый вид зависимостей износа канала ствола и радиального давления ведущего пояска от длины ствола. Поэтому величина $q_п$ учитывается при аналитическом определении живучести стволов.

При расчете стволов на прочность давление $q_п$ непосредственно в расчетные формулы не входит, хотя в начале нарезов и у дульного среза ствола оно может превосходить давление пороховых газов, поэтому его учет производится назначением соответствующих коэффициентов запаса прочности.

При движении снаряда со стороны ведущего пояска на боевые грани нарезов действуют нормальные поверхностные силы (силы давления ведущего пояска на боевую грань нареза), равнодействующие которых приложены к середине боевых граней, направлены перпендикулярно нарезам и называются силой нормального давления ведущего пояска на боевую грань нареза N.

Кроме того, на поверхность боевой грани действует сила трения fN, где f — коэффициент трения. Вектор этой силы направлен в сторону движения ведущего пояска снаряда.

При рассмотрении действия этих сил на ствол делают развертку ствола (рис. 10.11, $а$) на плоскость с координатными осями, исходящими из начала нареза $00'$. Ось $0X$ совпадает с направлением движения снаряда, а ось $0Y$ направлена по касательной к окружности канала ствола. При этом полагают, что сила N приложена нормально к боевой грани в точке A (середина боевой грани), а сила fN направлена по касательной к точке A.

Разлагают силы N и fN на составляющие по осям $0X$ и $0Y$, суммируют их, после чего получают

$$r_п = nN(\sin\alpha + f\cos\alpha);$$

$$r_к = nN(f\sin\alpha - \cos\alpha),$$

где $r_п$ — сила продольного давления ведущего пояска на боевые грани нарезов;

$r_к$ — сила касательного давления ведущего пояска на боевые грани нарезов;

n — число нарезов;

α — угол наклона нареза в точке A.

Сила $r_п$ направлена по оси канала ствола и стремится послать ствол вперед, а сила $r_к$ направлена по касательной к окружности сечения ствола и создает крутящий момент, который стремится при правой нарезке повернуть ствол против направления вращения часовой стрелки. Величина крутящего момента $M_{кр}$ определяется по формуле

$$M_{кр} = r_к r',$$

где

$$r' = \frac{d}{2} + \frac{t}{2}.$$

Сила N по величине равна силе нормальной реакции боевой грани нареза на ведущий поясок снаряда, но направлена в противоположную сторону. Поэтому при определении зависимости

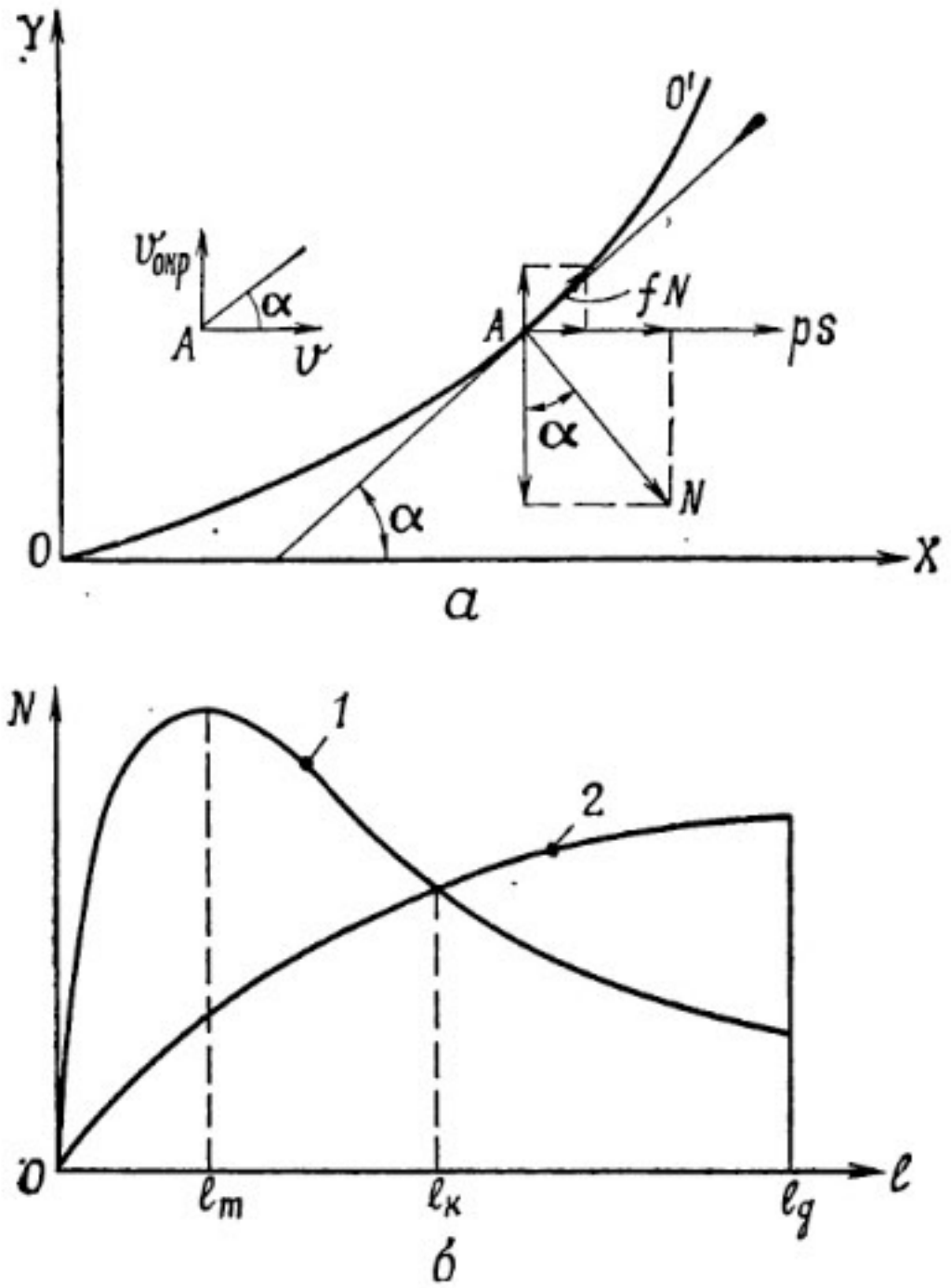


Рис. 10.11. Сила нормального давления ведущего пояска на боевую грань нарезов:
а — схема сил, действующих на боевую грань нареза; *б* — график зависимости силы N от пути движения снаряда l; *1* — для нареза постоянной крутизны; *2* — для нареза прогрессивной крутизны

силы N от баллистических параметров и конструктивных характеристик ведущей части канала ствола воспользуемся уравнениями поступательного и вращательного движения снаряда, которые с учетом вышеизложенного запишутся соответственно в следующем виде:

$$q \frac{dv}{dt} = -ps + nN(\sin\alpha + f\cos\alpha); \qquad (10.7)$$

$$A \frac{d\omega_{сн}}{dt} = -r'nN(f\sin\alpha - \cos\alpha), \qquad (10.8)$$

где s — площадь поперечного сечения канала ствола с учетом нарезов;

$A = q\rho^2$ — полярный момент инерции снаряда;

ρ — радиус инерции снаряда.

Угловая скорость вращения ведущего пояска снаряда определяется по зависимости (рис. 10.11)

$$\omega_{сн} = \frac{v_{окр}}{r'} = \frac{v}{r'} \operatorname{tg} \alpha, \qquad (10.9)$$

где $v_{окр}$ — окружная линейная скорость вращения ведущего пояска;

v — поступательная скорость снаряда.

Дифференцируя выражение (10.9) по времени и принимая

$$\frac{dx}{dt} = v,$$

получим

$$\frac{d\omega_{сн}}{dt} = \frac{1}{r'}\left[\operatorname{tg}\alpha \frac{dv}{dt} + v^2 \frac{d \operatorname{tg} \alpha}{dx}\right]. \qquad (10.10)$$

Подставляя полученное выражение в уравнение (10.8), учитывая, что $A = q\rho^2$, и обозначая $\left(\frac{\rho}{r'}\right)^2 = \lambda$, а $\frac{d(\operatorname{tg}\alpha)}{dx} = k_\alpha$, получим

$$\lambda\left(q \frac{dv}{dt} \operatorname{tg}\alpha + k_\alpha q v^2\right) = -nN(f \sin\alpha - \cos\alpha). \qquad (10.11)$$

При расчетах принимают для бронебойных снарядов $\lambda = 0{,}56$, а для фугасных $\lambda = 0{,}6 \div 0{,}68$.

Решая совместно уравнения (10.11) и (10.7) относительно силы нормального давления ведущего пояска на боевую грань нареза, находим

$$N = \frac{\lambda}{n} \cdot \frac{ps \operatorname{tg}\alpha + k_\alpha q v^2}{\lambda \operatorname{tg}\alpha(\sin\alpha + f\cos\alpha) - (f\sin\alpha - \cos\alpha)}.$$

Величина знаменателя второго члена правой части близка к единице, поэтому с достаточной для практики точностью можно принять следующую формулу:

$$N = \frac{\lambda}{n}(ps \operatorname{tg}\alpha + k_\alpha q v^2); \qquad (10.12)$$

если $\alpha = \text{const}$, то $k_\alpha = 0$ и зависимость (10.12) будет такой:

$$N = \frac{\lambda}{n} ps \operatorname{tg}\alpha. \qquad (10.13)$$

Из выражения (10.12) следует, что сила нормального давления ведущего пояска на боевую грань нареза зависит от давления в канале ствола, величины и характера изменения угла наклона нарезов и скорости снаряда.

Характер изменения силы N в зависимости от пути движения снаряда l представлен на рис. 10.11, *б*.

Как видно из графиков $N=f(l)$ и анализа зависимостей (10.12) и (10.13), сила нормального давления ведущего пояска на боевую грань имеет наибольшее значение для нарезки с $\alpha=\text{const}$ в зоне максимального давления, а в случае прогрессивной нарезки — в дульной части, где давление пороховых газов имеет значение, значительно меньшее максимального. Применение нарезов прогрессивной крутизны позволяет:

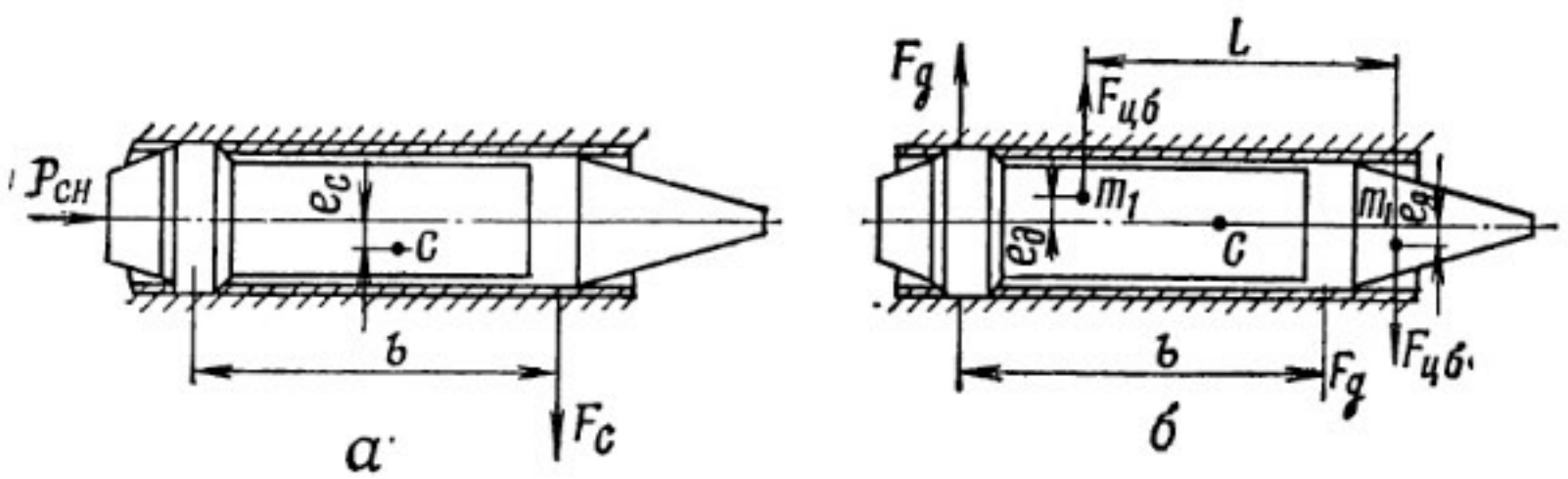


Рис. 10.12. Схемы неуравновешенных снарядов:
а — статически неуравновешенный снаряд; *б* — динамически неуравновешенный снаряд; *в* — снаряд с зазором $\frac{\Delta}{2}$

— уменьшить силу N_{max} на 30—40% по сравнению с N_{max} для $\alpha=\text{const}$ и сместить ее приложение относительно p_m, повышая тем самым живучесть ствола;

— облегчить условия врезания в нарезы и исключить срыв ведущего пояска снаряда, так как сила N равномерно изменяется в зависимости от пути снаряда.

В качестве примера заметим, что для 130-мм пушки М-46, ствол которой имеет 40 нарезов с $\alpha=\text{const}$, максимальное значение силы нормального давления на боевую грань $N_{max}=7600$ Н, а сила продольного давления ведущего пояска на боевые грани нарезов $r_ц=84\,800$ Н, крутящий момент $M_{кр}=1960$ Нм.

При движении статически и динамически неуравновешенного снаряда по каналу ствола возникает сила статической и динамической неуравновешенности снаряда, действующая на ствол через центрующее утолщение снаряда.

Снаряд, у которого центр тяжести C не совпадает с осью симметрии (рис. 10.12, *а*), будет статически неуравновешен. Расстояние от оси симметрии до центра тяжести C называется эксцентриситетом центра масс снаряда e_C.

При движении статически неуравновешенного снаряда на ствол будет действовать сила статической неуравновешенности снаряда

$$F_{\text{с}} = \frac{pse_C + F_{\text{цб}}(b - b_1)}{b}, \qquad (10.14)$$

где b — расстояние между средними плоскостями центрующего утолщения и ведущего пояска снаряда;

b_1 — расстояние между точкой C и средней плоскостью ведущего пояска снаряда;

e_C — эксцентриситет центра масс снаряда;

$F_{\text{цб}}$ — центробежная сила от статической неуравновешенности снаряда.

Снаряд, у которого центры тяжести отдельных его частей не лежат на оси симметрии, будет динамически неуравновешенным, хотя он может быть при этом статически уравновешен (рис. 10.12, *б*). В динамически неуравновешенном снаряде имеются массы m_1, лежащие на расстоянии $e_{\text{д}}$ от оси симметрии.

При движении динамически неуравновешенного снаряда каждая неуравновешенная масса (рис. 10.12, *б*) вызывает появление пары центробежных сил $F'_{\text{цб}}$, которые определяются из зависимости

$$F'_{\text{цб}} = m_1 \omega^2_{\text{сн}} e_{\text{д}}, \qquad (10.15)$$

где $\omega_{\text{сн}}$ — угловая скорость вращательного движения снаряда. Центробежные силы $F'_{\text{цб}}$ образуют моменты пары $F'_{\text{цб}} l$. В результате на ствол будет действовать сила

$$F_{\text{д}} = \frac{F'_{\text{цб}} l}{b} = \frac{m_1 \omega^2_{\text{сн}} e_{\text{д}} l}{b}.$$

Кроме сил $F_{\text{с}}$ и $F_{\text{д}}$ на ствол будет действовать также сила, возникающая вследствие имеющегося зазора между центрующим утолщением снаряда и полями нареза.

При одностороннем зазоре $\Delta/2$ между осями снаряда и канала ствола будет образован угол (рис. 10.12, *в*)

$$\delta = \frac{\Delta}{2b}.$$

Следовательно, при этом центр тяжести снаряда не будет совпадать с осью канала на величину

$$y = \delta\, l = \frac{\Delta l}{2b}. \qquad (10.16)$$

В связи с тем что равнодействующая сил давления пороховых газов проходит вдоль оси канала ствола, то на снаряд будет действовать момент

$$M_{\Delta} = yp\, s = \frac{\Delta l}{2b} ps, \qquad (10.17)$$

который вызывает появление силы $F_{\Delta} = \frac{M_{\Delta}}{b} = \frac{\Delta l}{2b^2} ps$, действующей на ствол.

Таким образом, центрующее утолщение передает на ствол суммарную силу

$$F_{ц} = F_{с} + F_{д} + F_{\Delta}.$$

Максимальное значение этой силы возникает тогда, когда векторы этих сил имеют одно направление. Насколько велика эта сила,

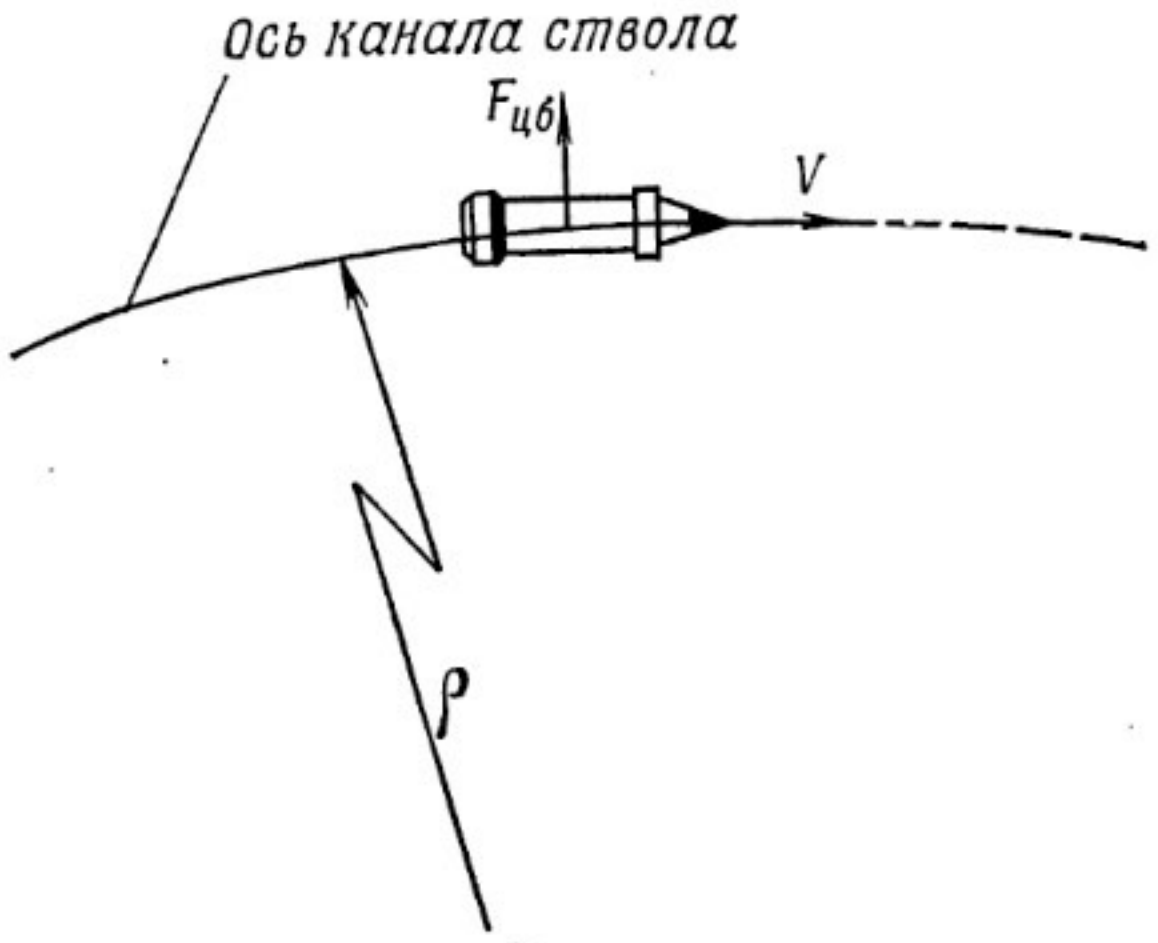


Рис. 10.13. Схема движения снаряда по каналу, имеющему кривизну

говорит следующее: при эксцентриситете $e_с = 0{,}2$ мм на центрующем утолщении снаряда при его движении по каналу ствола появляются отпечатки нарезов глубиной до 0,5 мм.

При движении снаряда по каналу, имеющему кривизну (рис. 10.13), на стенки ствола действует центробежная сила $F_{цб}$, направленная по радиусу кривизны в сторону выпуклости; если принять массу снаряда сосредоточенной в точке, то величину силы $F_{цб}$ определяют по известной в механике формуле

$$F_{цб} = \frac{qv^2}{\rho}, \qquad (10.18)$$

где q — масса снаряда;
v — скорость снаряда;
ρ — радиус кривизны канала ствола.

При постоянной кривизне канала ствола сила $F_{цб}$ достигает наибольшего значения у дульного среза. Под действием центробежной силы $F_{цб}$, направленной в сторону выпуклости ствола, происходит односторонний износ канала и изменение угла вылета снаряда. Поэтому при производстве кривизну ствола стремятся обеспечить минимальной.

Для артиллерийских стволов принимают допустимый радиус кривизны $\rho \geqslant 600$ м, так как в этом случае величина центробежных сил невелика.

В качестве примера заметим, что при движении осколочно-фугасного снаряда ($q=33{,}4$ кг) с $v=930$ м/с по стволу 130-мм пушки М-46, имеющему у дульного среза радиус кривизны $\rho=600$ м, сила $F_{цб}=47\,595$ Н.

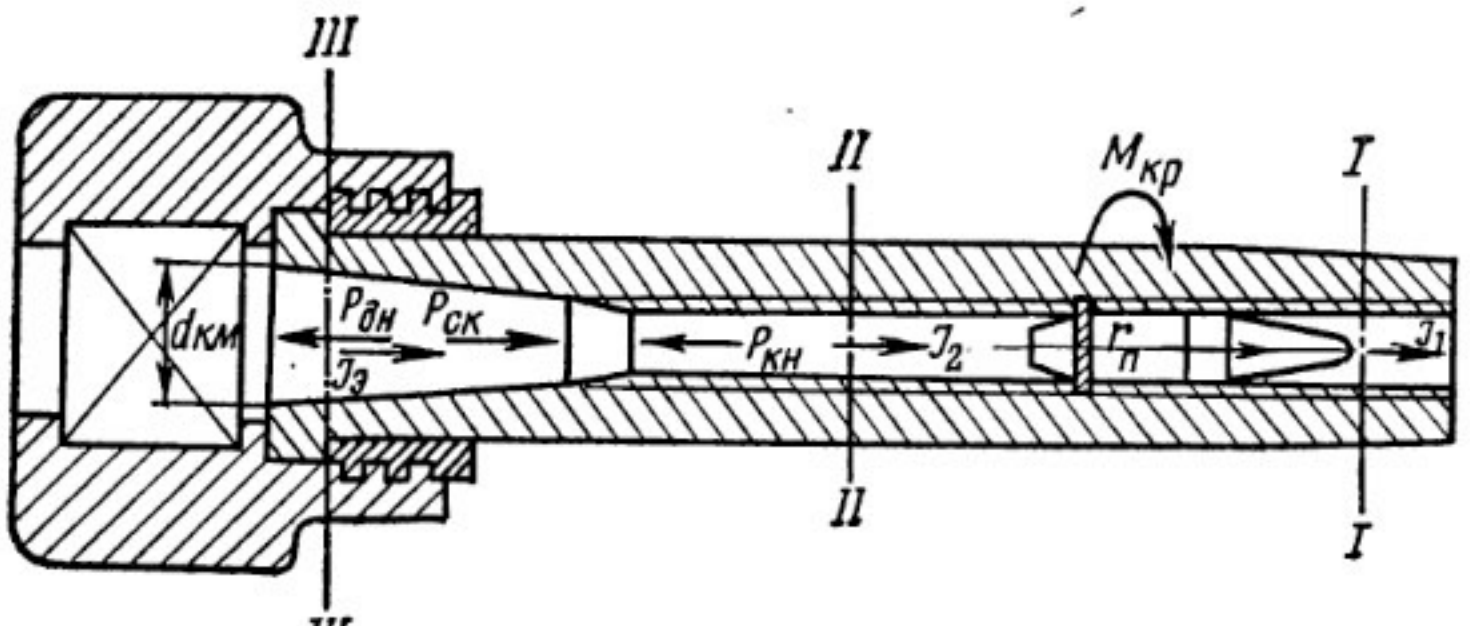


Рис. 10.14. Схема сил, действующих вдоль оси ствола при выстреле

Сила $P_{кн}$, производящая откат ствола (рис. 10.14), или сила отдачи, представляет собой алгебраическую сумму проекций сил, возникающих в канале при выстреле, на ось ствола, т. е.

$$P_{кн} = P_{дн} - P_{ск} - r_п = ps - r_п. \qquad (10.19)$$

При выстреле из 130-мм пушки М-46 в момент достижения пороховыми газами давления P_m величина $P_{кн\,max} = 416 \cdot 10^4$ Н.

При откате ствол тормозится силой сопротивления откату R, которая приложена к центру тяжести откатных частей и определяется зависимостью

$$R = \Phi_0 + П + R_f - Q_0 \sin\varphi, \qquad (10.20)$$

где Φ_0 — сила гидравлического сопротивления тормоза отката;
$П$ — сила накатника;
R_f — суммарная сила трения в направляющих и уплотнительных устройствах;
$Q_0 \sin\varphi$ — составляющая силы тяжести откатных частей на направление отката;
φ — угол возвышения ствола.

Величина силы сопротивления откату устанавливается из условия устойчивости и неподвижности орудия.

При выстреле откатные части движутся с ускорением, поэтому в любом поперечном сечении (*I—I*, *II—II*, *III—III*) на ствол действует сила инерции (рис. 10.14)

$$I = M_п \frac{d^2X}{dt^2}, \qquad (10.21)$$

где $M_п$ — масса передней части ствола от рассматриваемого сечения;

$\frac{d^2X}{dt^2}$ — ускорение ствола при откате.

Ускорение ствола при откате определяется из уравнения движения откатных частей

$$M_0 \frac{d^2X}{dt^2} = P_{кн} - R, \qquad (10.22)$$

где M_0 — масса откатных частей.

Пренебрегая величиной R, так как в сравнении с $P_{кн}$ она в 30—40 раз меньше, из выражения (10.22) получим

$$\frac{d^2X}{dt^2} = \frac{P_{кн}}{M_0}. \qquad (10.23)$$

Подставляя ускорение откатных частей из зависимости (10.23) в выражение (10.21), получим

$$I = \frac{M_п}{M_0} P_{кн}. \qquad (10.24)$$

Анализ выражения (10.24) показывает, что чем ближе рассматриваемое сечение к казеннику (чем больше $M_п$), тем больше сила инерции I. Максимальное значение сила I имеет в момент отката, когда в канале ствола давление пороховых газов достигает P_m.

Так как сила инерции направлена в сторону, обратную откату, то она стремится оторвать дульную часть ствола от казенной. По абсолютной величине сила инерции I достигает значительной величины.

Так, например, у ствола 130-мм пушки М-46 в момент t_m в сечении на удалении $^1/_4$ длины ствола от казенника $I = 104 \cdot 10^4$ Н.

Силу инерции применяют при расчете резьбы казенника на прочность и осевых деформаций ствола.

§ 10.3. ПРЕДЕЛ УПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТВОЛА-МОНОБЛОКА

Для сообщения снаряду требуемой скорости в канале ствола создается довольно высокое давление газов, которое стремится не только переместить снаряд, но и разрушить ствол. Чтобы ствол выдерживал это давление, не разрушаясь в течение всего срока его эксплуатации, он должен быть достаточно прочным. Мерой прочности является предел упругого сопротивления ствола.

Пределом упругого сопротивления ствола называется такое максимальное давление газов в канале, при котором в стенках ствола не образуются остаточные деформации.

При определении величины предела упругого сопротивления ствола используют одну из четырех существующих в настоящее время теорий прочности, каждая из которых по-разному подходит

к моменту появления остаточных деформаций в металле, подверженному объемному напряженному состоянию.

В Советском Союзе и в ряде государств Европы применяют вторую теорию прочности при определении предела упругого сопротивления ствола. Согласно этой теории остаточные деформации в материале, подверженном объемному напряженному состоянию, наступают тогда, когда наибольшее относительное удлинение будет больше относительного удлинения при простом растяжении в момент достижения в материале напряжения, равного пределу упругости. Поэтому в зависимости от того, что в каждом конкретном случае больше относительные тангенциальные (окружные) удлинения $\varepsilon_к$ или относительные радиальные удлинения ε_r, условие прочности по этой теории будет соответственно выглядеть так:

$$\varepsilon_к \leqslant \frac{\sigma_e}{E} \qquad (10.25)$$

или

$$\varepsilon_r \leqslant \frac{\sigma_e}{E}, \qquad (10.26)$$

где E — модуль упругости первого рода;

σ_e — предел упругости.

Основываясь на условии (10.25) или (10.26), определяют предел упругого сопротивления ствола. Предварительно устанавливают зависимости между главными напряжениями и деформациями, возникающими в стенках ствола при выстреле.

Установление этих зависимостей проводят при следующих допущениях:

— труба имеет цилиндрическую форму до и после деформации, и всякое сечение, плоское до деформации, остается плоским и после деформации;

— материал трубы однороден и изотропен;

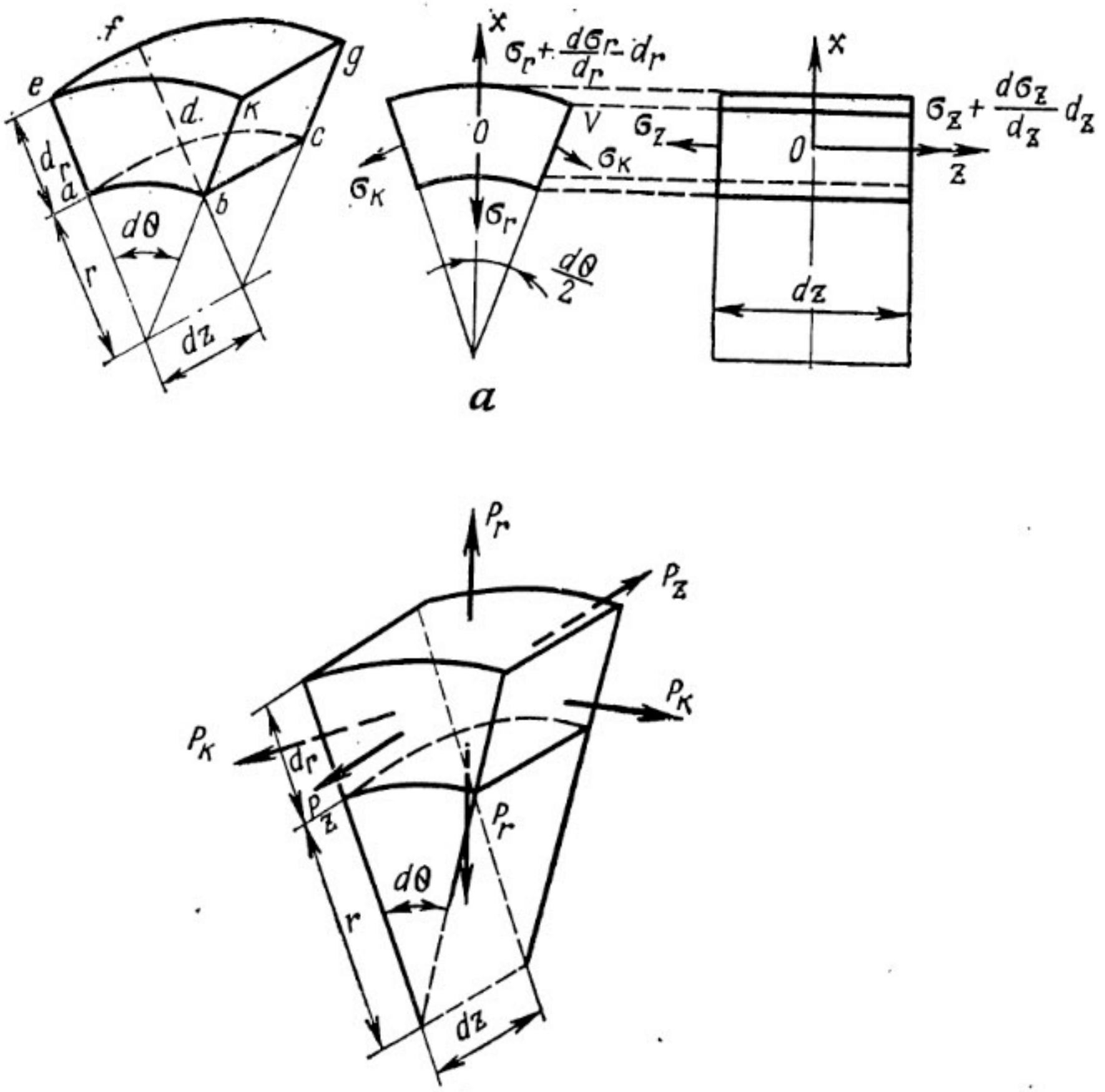
— по поверхностям трубы силы давления распределены равномерно и приложены нормально к ним;

— частицы металла под действием внешних сил находятся в равновесии.

В общем случае стенки ствола при выстреле под действием сил давления пороховых газов подвергаются сложному нагружению и испытывают объемные деформации. В его поперечных сечениях происходит растяжение металла по окружностям, имеющим центр на оси канала, и одновременно сжатие по радиальным направлениям. Кроме того, под действием сил инерции ствола и силы продольного давления ведущего пояска на нарезы, направленных вперед, возникает осевое растяжение в продольном сечении ствола.

Для определения напряжений в стенке ствола, возникающих под действием давления газов, выделяют из него концентрическими поверхностями с радиусами r и $r+dr$ бесконечно малый элемент длиной dZ с центральным углом $d\theta$, отстоящий от казенного среза на расстоянии Z (рис. 10.15, a).

Пусть на внутренней поверхности этого элемента возникают радиальные напряжения σ_r, на наружной — $\sigma_r + d\sigma_r$, на торцевых поверхностях — окружные напряжения $\sigma_к$, а на поверхностях, перпендикулярных плоскости чертежа, — осевые напряжения σ_z и $\sigma_z + d\sigma_z$.



а *б*

Рис. 10.15. Бесконечно малый элемент стенки ствола:

а — схема напряжений, действующих на бесконечно малый элемент стенки ствола при выстреле; *б* — схема растягивающих сил, действующих на бесконечно малый элемент стенки ствола при выстреле

Согласно допущениям элемент при деформации перекашиваться не будет, а следовательно, касательные напряжения по его граням будут отсутствовать. Значит, по поверхностям этого элемента действуют внутренние силы, равнодействующие которых приложены к центру граней и равны произведению напряжения на соответствующую площадь грани, т. е. равнодействующая сила внутренней поверхности равна $\sigma_r r d\theta dZ$, наружной поверхности — $(r+dr)\ (\sigma_r + d\sigma_r)\ d\theta dZ$, боковых поверхностей — $\sigma_к dZ dr$, торцевых — $\sigma_Z r d\theta dZ$ и $(\sigma_Z + d\sigma_Z) r d\theta dZ$.

На основании допущения, что частицы материала трубы под действием внешних сил находятся в равновесии, используя уравнение статики, приравнивают нулю сумму проекций сил, действующих на элемент, на каждую из трех взаимно перпендикулярных осей X, Y, Z. Ось X направлена по радиусу ствола, ось Z — по оси ствола, а ось Y перпендикулярна осям X и Z.

Проектируя силы на ось X, Y, Z и учитывая, что ввиду малости угла $d\theta \sin\frac{d\theta}{2} = \frac{d\theta}{2}$, получают

$$\left.\begin{aligned} \sum X_i &= (\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr)\, d\theta\, dZ - \sigma_r \cdot r\, d\theta\, dZ - \\ &\quad - 2\sigma_к\, dr\, dZ \frac{d\theta}{2} = 0; \\ \sum Y_i &= 0; \\ \sum Z_i &= d\sigma_Z\, r\, d\theta\, dr = 0. \end{aligned}\right\} \quad (10.27)$$

Сокращая первое уравнение системы (10.27) на $dr d\theta dZ$ и отбрасывая члены, содержащие бесконечно малые величины высшего порядка, определяют

$$\sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr} - \sigma_к = 0. \quad (10.28)$$

Уравнение (10.28) устанавливает связь между радиальными и окружными напряжениями и называется уравнением Ляме — Гадолина. Это уравнение показывает, что окружные и радиальные напряжения не зависят от осевых.

Из третьего уравнения системы (10.27) следует, что $\sigma_Z = \text{const}$, т. е. осевые напряжения не зависят от радиуса.

При определении окружных и радиальных напряжений одного уравнения системы (10.28) недостаточно, поэтому дополнительно к нему составляют условные совместности деформаций. На выделенный бесконечно малый элемент действуют растягивающие силы P_Z, $P_к$, P_r (рис. 10.15, *б*). Под действием растягивающих сил P_r линейный размер элемента будет увеличиваться по радиусу, относительное удлинение которого

$$\varepsilon'_r = \frac{\sigma_r}{E}.$$

В то же время от действия сил $P_к$ и P_Z линейный размер элемента будет уменьшаться в направлении радиуса r. При этом относительное укорочение

$$\varepsilon''_r = \mu\frac{\sigma_к}{E}, \text{ а } \varepsilon'''_r = \mu\frac{\sigma_Z}{E},$$

где μ — коэффициент Пуассона (для стали $\mu = 0{,}3$).

Следовательно, полная относительная деформация элемента в направлении радиуса r выразится разностью относительного удлинения и укорочения, т. е.

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' - \varepsilon_r'' - \varepsilon_r''' = \frac{1}{E}[\sigma_r - \mu(\sigma_к + \sigma_Z)]. \qquad (10.29)$$

Подобные выражения получают и для относительных деформаций в направлении действия сил $P_к$ и P_Z, т. е.

$$\varepsilon_к = \frac{1}{E}[\sigma_к - \mu(\sigma_r + \sigma_Z)]; \qquad (10.30)$$

$$\varepsilon_Z = \frac{1}{E}[\sigma_Z - \mu(\sigma_к + \sigma_r)]. \qquad (10.31)$$

Принимая во внимание допущение о том, что всякое сечение после деформации остается плоским, т. е. относительная осевая деформация ε_Z не зависит от радиуса, устанавливают, что

$$\frac{d\varepsilon_Z}{dr} = 0. \qquad (10.32)$$

Дифференцируют выражение (10.31) по r и с учетом зависимости (10.32) получают

$$\frac{d\varepsilon_Z}{dr} = -\mu\frac{d}{dr}(\sigma_r + \sigma_к) = 0. \qquad (10.33)$$

Следовательно

$$\sigma_r + \sigma_к = \text{const} = 2C_1. \qquad (10.34)$$

Подставляя в формулу (10.34) значение $\sigma_к$ из зависимости (10.28), находят

$$2\sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr} = 2C_1. \qquad (10.35)$$

Умножая обе части выражения (10.35) на rdr, имеют

$$2r\sigma_r dr + r^2 d\sigma_r = 2rC_1 dr,$$

или

$$\frac{d}{dr}(\sigma_r r^2) = \frac{d}{dr}(r^2 C_1).$$

Интегрируя последние выражения, получают

$$C_2 + \sigma_r r^2 = r^2 C_1,$$

откуда

$$\sigma_r = C_1 - \frac{C_2}{r^2}. \qquad (10.36)$$

Подставляя в уравнение (10.34) значение σ_r из зависимости (10.36), определяют

$$\sigma_к = 2C_1 - \sigma_r = C_1 + \frac{C_2}{r^2}. \qquad (10.37)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находят из граничных условий на внутренней и наружной поверхностях цилиндра:

$$(\sigma_r)_{r=r_1} = -p_1;\ (\sigma_r)_{r=r_2} = -p_2. \tag{10.38}$$

Знак «минус» в правых частях этих формул говорит о том, что положительными радиальными напряжениями σ_r приняты растягивающие напряжения (рис. 10.15, *б*). Подставляя граничные условия (10.38) при соответствующих r в выражение (10.36), получают

$$-p_1 = C_1 - \frac{C_2}{r_1^2}; \tag{10.39}$$

$$-p_2 = C_1 - \frac{C_2}{r_2^2}. \tag{10.40}$$

Решая совместно уравнения (10.39) и (10.40) относительно C_1 и C_2, определяют

$$C_1 = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}; \tag{10.41}$$

$$C_2 = \frac{(p_1 - p_2)\, r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{10.42}$$

Подставляя значения C_1 и C_2 в выражения (10.36) и (10.37), находят

$$\sigma_r = -p_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{r_2^2 - r^2}{r_2^2 - r_1^2} - p_2 \frac{r_2^2}{r} \cdot \frac{r^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}; \tag{10.43}$$

$$\sigma_к = p_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - p_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r_1^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{10.44}$$

Приближенно осевые напряжения в стенках ствола могут быть определены так:

$$\sigma_z = \sigma'_z + \sigma''_z + \sigma'''_z, \tag{10.45}$$

где σ'_z — осевые напряжения, возникающие от силы продольного давления ведущего пояска на боевую грань нареза; определяются по формуле

$$\sigma'_z = \frac{r_п}{\pi\left(r_2^2 - r_1^2\right)}; \tag{10.46}$$

σ''_z — осевые напряжения, возникающие от силы инерции ствола при выстреле; определяются по формуле

$$\sigma''_z = \frac{I}{\pi\left(r_2^2 - r_1^2\right)}; \tag{10.47}$$

σ_z''' — осевые напряжения в стенках каморы, возникающие от действия силы $P_{ск}$; определяются по формуле

$$\sigma_z''' = \frac{P_{ск}}{\pi\left(r_2^2 - r_1^2\right)} \cdot \frac{l_к - x}{l_к}, \qquad (10.48)$$

где $l_к$ — длина каморы;
x — расстояние до рассматриваемого сечения.

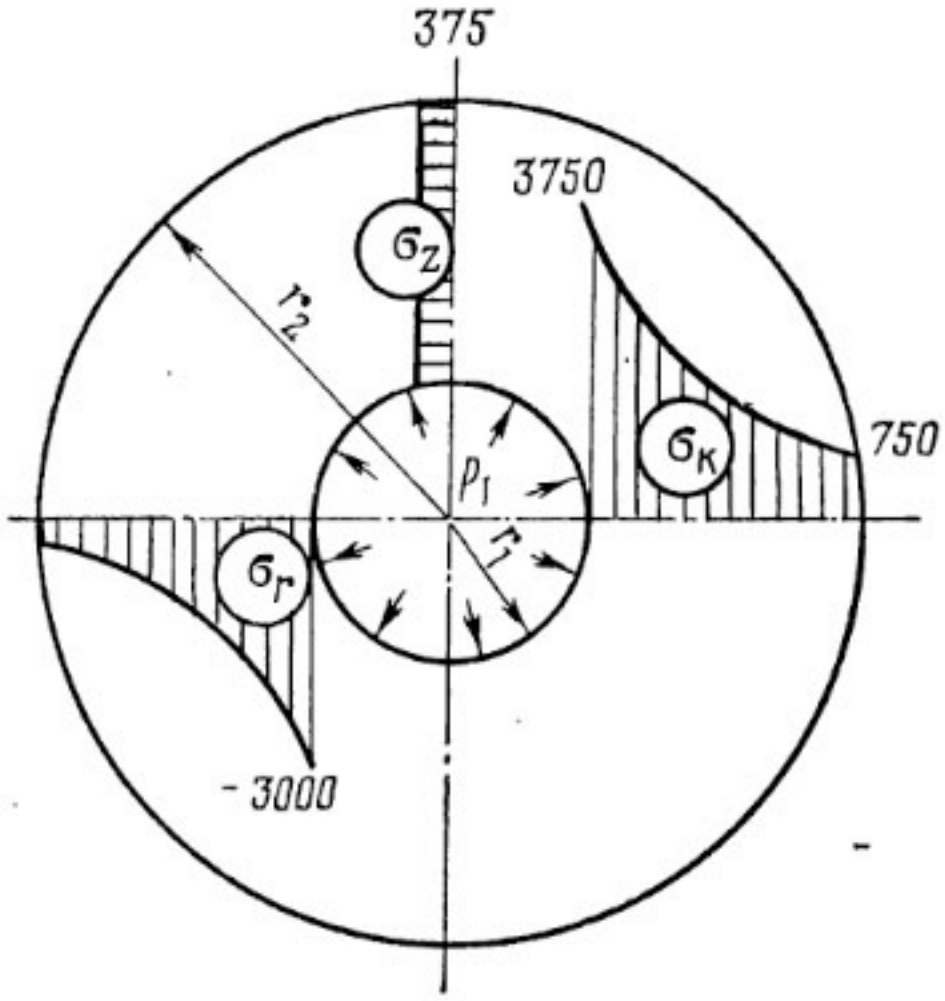


Рис. 10.16. Эпюры нормальных напряжений в поперечном сечении стенки ствола

Формулы (10.46), (10.47) и (10.48) применяют для определения нормальных осевых напряжений в стенках ствола.

Анализ вида эпюр (рис. 10.16) радиальных, окружных и осевых нормальных напряжений в поперечном сечении ствола, рассчитанных по формулам (10.43), (10.44) и (10.45) при $p_1 = 0{,}3$ мН/м², $p_2 = 0$, $\frac{r_2}{r_1} = 3$, показывает следующее:

1. Для любого радиуса r абсолютные величины окружных напряжений больше абсолютной величины радиальных напряжений, т. е. $|\sigma_к| > |\sigma_r|$.

2. Наибольшее напряжение возникает на внутренней поверхности трубы. Следовательно, при чрезмерно высоком давлении p_1 первоочередному разрушению подвержены внутренние слои металла трубы.

Зависимости (10.29), (10,30), (10.31) приводят к следующему виду:

$$E\varepsilon_к = \sigma_к - \mu(\sigma_z + \sigma_r); \qquad (10.49)$$

$$E\varepsilon_r = \sigma_r - \mu(\sigma_к + \sigma_z); \qquad (10.50)$$

$$E\varepsilon_z = \sigma_z - \mu(\sigma_к + \sigma_r). \qquad (10.51)$$

Произведения $E\varepsilon_к$, $E\varepsilon_r$, $E\varepsilon_Z$ называются соответственно приведенными окружными, радиальными и осевыми напряжениями.

Подставляют значения σ_r и $\sigma_к$ из уравнений (10.43), (10.44) и

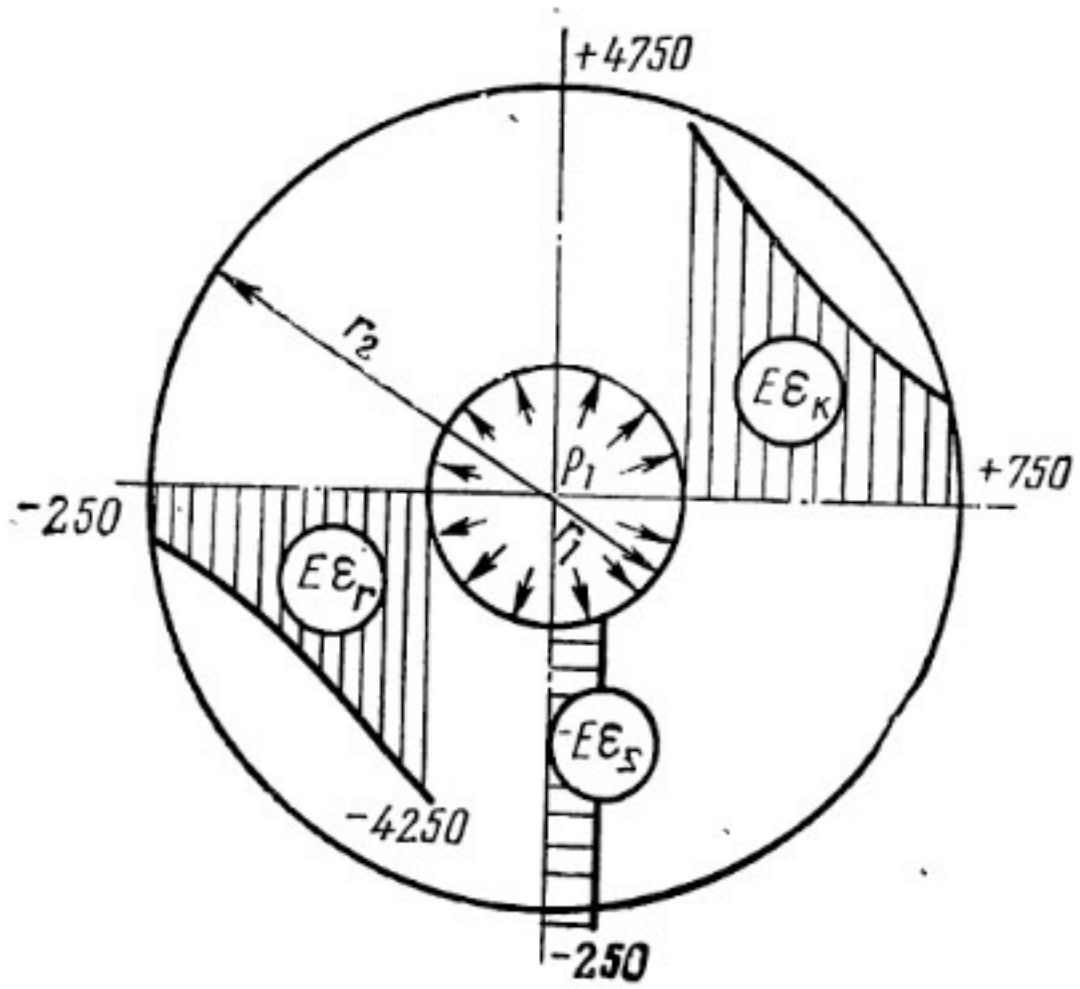


Рис. 10.17. Эпюры приведенных напряжений в поперечном сечении стенки ствола

$\mu = \frac{1}{3}$ в формулы (10.49), (10.50) и (10.51), которые после несложных преобразований принимают следующий вид:

$$E\varepsilon_к = \frac{2}{3}\, p_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3}\, p_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{2r_1^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{1}{3}\sigma_Z; \quad (10.52)$$

$$E\varepsilon_r = -\frac{2}{3}\, p_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 - r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3}\, p_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r^2 - 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{1}{3}\sigma_Z; \quad (10.53)$$

$$E\varepsilon_Z = \sigma_Z - \frac{2}{3} \cdot \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (10.54)$$

Из анализа уравнений (10.52), (10.53), (10.54) и вида эпюр приведенных напряжений (рис. 10.17), вычисленных по этим уравнениям при $p_1 = 0{,}3$ мН/м^2, $p_2 = 0$, $\frac{r_2}{r_1} = 3$, $\sigma_Z = 0$, устанавливают следующее:

1. В поперечном сечении приведенные окружные напряжения по абсолютной величине всегда больше радиальных и осевых для одного значения текущего радиуса r.

2. Наибольшие приведенные напряжения возникают на внутренней поверхности трубы при $r = r_1$.

На основании этих выводов предел упругого сопротивления ствола определяют из условия прочности (10.25) для окружных относительных удлинений $\varepsilon_к$. Подставляя в условие (10.25) значе-

ние $\varepsilon_к$ из формулы (10.52), полагая при этом $r=r_1$, $p_2=0$, $\sigma_Z=0$, после несложных преобразований получают

$$E\varepsilon_к = \frac{2}{3}\, p_1 \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} = \sigma_e. \qquad (10.55)$$

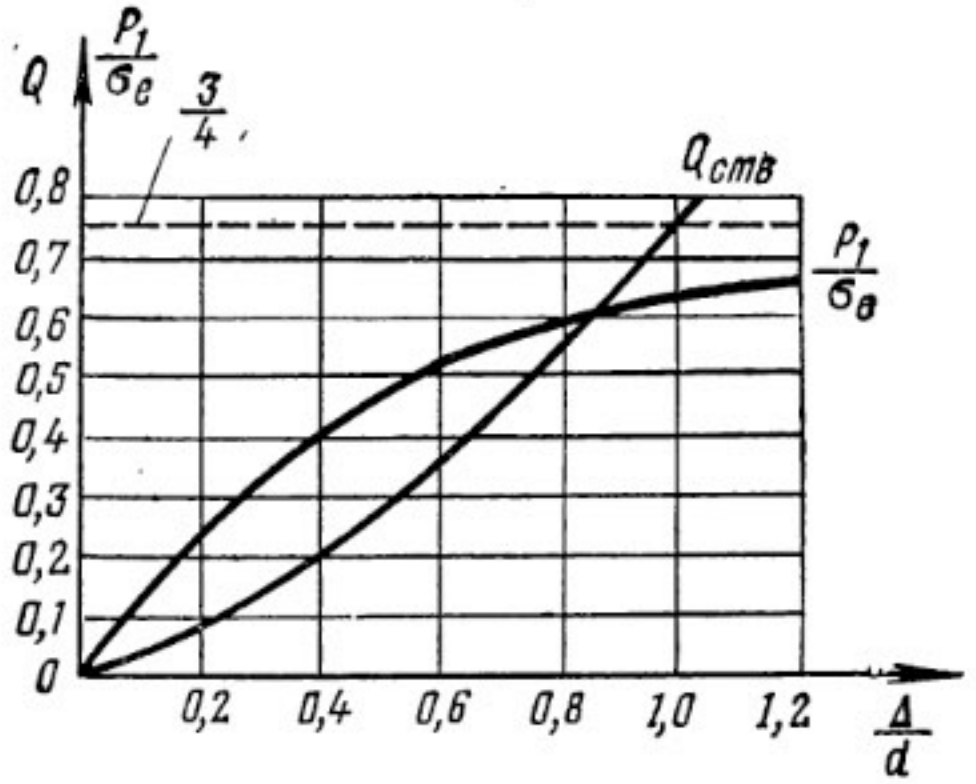


Рис. 10.18. График зависимости упругого сопротивления и массы ствола от толщины стенки ствола

Из зависимости (10.55) определяют предел упругого сопротивления ствола

$$p_1 = \frac{3}{2}\, \sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2}. \qquad (10.56)$$

Анализ формулы показывает, что предел упругого сопротивления ствола p_1 зависит от качества материала σ_e и толщины стенки ствола r_1, r_2.

Обычно стволы изготовляют из специальных орудийных сталей с $\sigma_e = 800 \div 1100$ Н/мм². Калибр ствола — величина заданная, значит, повышение предела упругого сопротивления p_1 при определенном качестве материала достигается увеличением наружного радиуса r_2. Целесообразный интервал увеличения радиуса r_2 устанавливают из зависимости (10.56) при $r_2 \to \infty$. Для определения вида этой зависимости делят числитель и знаменатель формулы (10.56) на r_2 и после несложных преобразований получают

$$p_{1\,\max} = \frac{3}{4}\, \sigma_e. \qquad (10.57)$$

Таким образом, зависимость (10.57) показывает, что при бесконечном увеличении толщины стенок ствола предел упругого сопротивления ствола стремится к величине $^3/_4\ \sigma_e$.

Анализ графика зависимости предела упругого сопротивления и массы ствола от толщины стенок (рис. 10.18) позволяет сделать

вывод, что толщину стенок по сечению нецелесообразно делать свыше (0,8—1) d, так как при дальнейшем ее увеличении незначительно повышается предел упругого сопротивления и резко возрастает масса ствола.

У большинства существующих орудий толщина стенок ствола примерно равна 0,7 d (так, например, ствол 76-мм пушки ЗИС-3 имеет толщину стенки в месте максимального давления $\Delta = 35$ мм, а ствол 152-мм гаубицы-пушки МЛ-20 имеет $\Delta = 100$ мм).

§ 10.4. РАСЧЕТ СТВОЛА-МОНОБЛОКА НА ПРОЧНОСТЬ

Прочностной расчет стволов производят после решения задачи их баллистического проектирования, в результате которой получают все необходимые конструктивные данные для построения канала ствола (W_0, S, $l_д$, x, $L_к$, $L_{ст}$) и условия заряжания при выбранной природе и геометрической форме пороха (ω, Δ, $I_к$, f и т. д.). Прочностной расчет ствола-моноблока рекомендуется производить в такой последовательности:

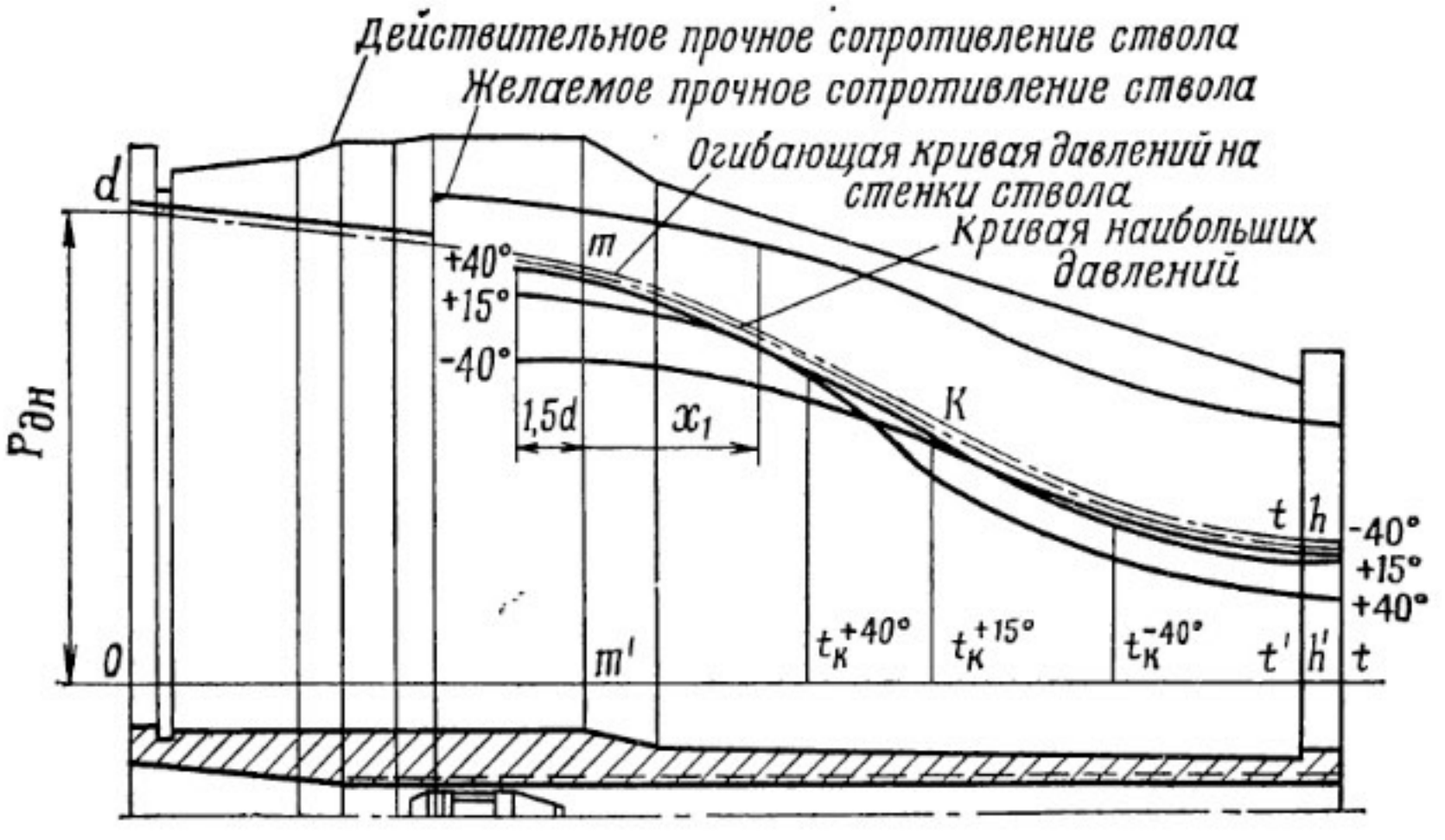


Рис. 10.19. К расчету ствола-моноблока на прочность

1. На основании конструктивных данных в масштабе вычерчивают продольный разрез ствола и определяют начальное положение снаряда в канале (рис. 10.19).

2. Строят графики зависимости баллистических давлений пороховых газов от пути снаряда по каналу ствола при температурах порохового заряда 223° К (—50° С), 288° К (+15° С), 323° К (+50° С) по таблицам ГАУ, ч. I, II, III.

3. Проводят огибающую кривую баллистических давлений от максимального давления до дульной части всей совокупности этих кривых. Тогда от p_m и примерно до середины канала ствола будет использована часть кривой $p = p(l)$ при температуре заряда 323° К,

в средней части — кривая $p=p(l)$ при температуре 288° К и в дульной части — кривая $p=p(l)$ при температуре 223° К.

4. Строят кривую давлений пороховых газов на стенки ствола. При этом обычно принимают, что от места положения наибольшего давления до дульного среза давление на стенки ствола равно давлению на дно снаряда в данном его положении. Давление на дно снаряда $p_{сн}=p\frac{\varphi_1}{\varphi}$, где $\varphi_1=1+K_2+K_3\simeq 1{,}02$ — коэффициент учета сил сопротивления нарезов поступательному движению снаряда; $\varphi=K_\varphi+\frac{1}{3}\lambda_\chi\frac{\omega}{q}$; для пушек $K_\varphi=1{,}03\div 1{,}05$; для гаубиц $K_\varphi=1{,}06$.

Учитывая, что в результате отклонения параметров заряжания в пределах допуска и в зависимости от условий стрельбы точка p_m может несколько отклоняться от расчетного места, положение ее на графике смещают на (1,5—2) d к дульной части. Смещенное положение p_m соединяют плавной линией с точкой кривой, отвечающей концу горения порохового заряда при $T=313°$ К.

Давление пороховых газов на стенки ствола от дна каморы до сечения смещенного положения p_m принимают изменяющимся по линейному закону от $p_{дн}$ до $p_{сн}$. При этом

$$p_{дн\,m}=\left(1+\frac{1}{2}\lambda_x\frac{\omega}{q}\right)p_{сн\,m}. \qquad (10.58)$$

В действительности линия, соединяющая точки $p_{дн\,m}$ и $p_{сн\,m}$, не прямая, а слегка выпуклая вверх. Полученную кривую называют кривой наибольших давлений на стенки ствола. Эту кривую берут за основу при расчете ствола на прочность.

5. Вычисляют и проводят кривую желаемого прочного сопротивления ствола, для чего ординаты кривой наибольших давлений на стенки ствола умножают на коэффициент запаса прочности n.

Величину коэффициента запаса прочности в зависимости от положения сечения берут следующую:

— по каморе $n=1$;

— от начала нарезов до сечения смещенного положения p_m для однопроцентной нарезки $n=1{,}1$ и для двухпроцентной нарезки $n=1{,}2$;

— по длине, равной $2d$ от дульной части, $n=1{,}9$;

— от сечения смещенного положения p_m до сечения, удаленного на расстояние $2d$ от дульного среза, коэффициент запаса прочности изменяется по линейному закону, т. е. $n=1{,}1+0{,}8\ \frac{x_i}{l}$ для однопроцентной нарезки, $n=1{,}2+0{,}7\ \frac{x_i}{l}$ для двухпроцентной нарезки, где x_i — расстояние от сечения смещенного положения p_m до рассматриваемого сечения; l — расстояние от сечения смещенного положения p_m до сечения, удаленного на расстояние $2\,d$ от дульного среза.

По давлениям, соответствующим кривой желаемого прочного сопротивления, ствол рассчитывается на прочность. Кривая желаемого прочного сопротивления ствола выражает собой то наибольшее допустимое давление пороховых газов, в величине которой учтены погрешности расчетов и отклонения условий эксплуатации ствола от нормальных.

6. Выбирают материалы ствола (σ_e) и наружный радиус r_2 двумя способами.

а) На основе анализа существующих конструкций выбирают категорию прочности материала σ_e и для каждого опорного сечения определяют наружный радиус r_2 по формуле

$$r_{2l} = r_{1l} \sqrt{\frac{3\sigma_e + 2p_{1l}}{3\sigma_e - 4p_{1l}}}, \qquad (10.59)$$

где p_{1l} — давление, численно равное ординате кривой желаемого прочного сопротивления ствола для рассматриваемого сечения.

При выборе категории прочности стали следует руководствоваться указаниями ГОСТ о возможностях получения необходимой прочности в зависимости от марки и толщины стенки заготовки ствола.

б) Определяют наружный радиус ствола для сечения, соответствующего p_m, по формуле

$$r_2 = (2{,}2 \div 2{,}5)\, r_1, \qquad (10.60)$$

где

$$r_1 = \frac{d + t}{2},$$

округляют полученное значение r_2 до 5 мм в большую сторону, после чего находят категорию прочности материала ствола по формуле

$$\sigma_e = \frac{2}{3} p_{\text{дн } m} \frac{2r_2^2 + r_к^2}{r_2^2 - r_к^2}, \qquad (10.61)$$

где $r_к$ — наибольший радиус каморы.

Полученное значение σ_e округляют в большую сторону до ближайшего по ГОСТ.

7. По известной категории прочности материала находят наружный радиус трубы на длине $2d$ от дульного среза по зависимости (10.59). Расчетный размер радиуса r_2 увеличивают на 2—3 мм при отсутствии дульного тормоза и на 5—6 мм при наличии дульного тормоза.

8. Определяют наружное очертание трубы, учитывая при этом следующее:

а) если ствол направляется при откате по люльке захватами, то расстояние между ними берется в пределах 8—10 d, для того чтобы центр тяжести ствола лежал между захватами;

б) если ствол направляется при откате по обойной люльке, то длина цилиндрической части наружной поверхности ствола делается несколько больше длины отката;

в) наружное очертание ствольной трубы не должно иметь резких выступов и переходов для исключения концентрации напряжения.

9. Строят ломаную линию действительного прочного сопротивления ствола, для чего в каждом сечении ствола, где изменялся наружный или внутренний радиус, отыскивают предел сопротивления ствола по формуле

$$p_1 = \frac{3}{2}\sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2}.$$

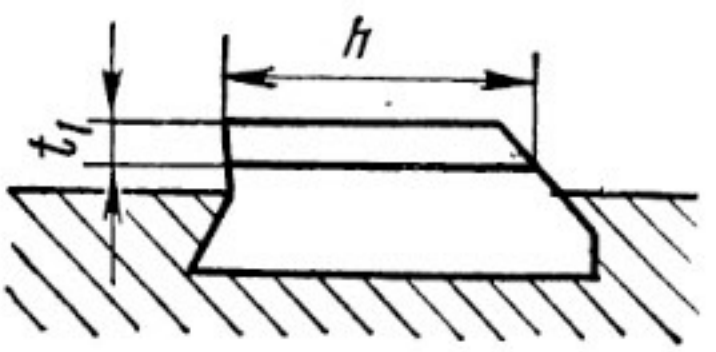


Рис. 10.20. Поперечное сечение ведущего пояска снаряда

Действительное прочное сопротивление ствола не должно быть меньше желаемого прочного сопротивления. Коэффициент запаса прочности в каждом сечении будет частным от деления ординаты кривой действительного прочного сопротивления на ординату кривой наибольших давлений, соответствующих этому сечению.

Расчет боевых граней нарезов начинают с определения их нагруженности, которая характеризуется удельным давлением $N_{уд}$, вычисляемым по формуле

$$N_{уд} = \frac{N_{max}}{t_1 \cdot h}, \qquad (10.62)$$

где t — толщина ведущего пояска, соответствующая глубине нареза;

h — средняя ширина ведущего пояска (рис. 10.20).

Величина $N_{уд}$ не должна превышать величину смятия ведущего пояска. Для ведущего пояска из красной меди величина допустимого удельного давления $N_{уд}=255$ мН/м², а для медно-никелевого пояска $N_{уд}=3{,}5$ мН/м².

При величине $N_{уд}$ больше указанного значения отношение $\frac{a}{b}$ уменьшают до 1,2, но одновременно при этом увеличивают глубину нарезов до $t=(0{,}020 \div 0{,}025)\,d$.

Размеры элементов нарезов выбирают по опытным данным согласно табл. 10.2.

Боевые грани нарезов, находясь под воздействием силы, стремятся изогнуться и срезаться; чтобы исключить это, их рассчитывают на изгиб и срез силой N по следующим формулам:

$$\sigma_и = \frac{M}{W}; \qquad (10.63)$$

$$\tau = \frac{N_{max}}{th}, \qquad (10.64)$$

где $\sigma_и$ — напряжение от изгиба;

$M = \frac{N_{max} t}{2}$ — изгибающий момент;

$W = \frac{bh}{6}$ — момент сопротивления сечения;

τ — напряжение среза.

Таблица 10.2

Калибр ствола и начальная скорость снаряда	Для наземной и танковой артиллерии $\Delta v_0 = 10\% v_0$			Для зенитной и морской артиллерии $\Delta v_0 = 5\% v_0$		
	t %	a/b	$N_{уд}$ мН/м²	t %	a/b	$N_{уд}$ мН/м²
Стволы малого и среднего калибров при $v_0 = 1000—1100$ м/с	1,5—2	1,5—1,7	2,0—2,5	2,0	1,1—1,4	1,5—2,0
Стволы малого и среднего калибров при $v_0 > 1100$ м/с	2,0	1,1—1,4	1,2—1,5	2,0—2,5	1,0—1,2	1,0—1,2
Стволы крупного калибра при $v_0 = 900—950$ м/с	2,0	1,3—1,6	1,2—1,5	2,0	1,3—1,6	1,2—1,5
Стволы крупного калибра при $v_0 > 950$ м/с	2,0	1,0—1,3	1,2—1,5	2,0	1,3—1,6	1,2—1,5

Приведенные суммарные напряжения определяются по формуле $\sigma_{пр} = 0{,}5\sqrt{\sigma^2_{изг} + 4\tau}$; при этом $\sigma_{пр} \leqslant \frac{\sigma_e}{2}$. В противном случае произойдет изгиб или срезание грани нарезов под действием силы нормального давления ведущего пояска на боевую грань нареза. Приведенный способ расчета является приближенным, так как в нем не учитывается действие радиального давления ведущего пояска.

§ 10.5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТВОЛОВ

В условиях современного боевого использования артиллерийских орудий, когда от них требуются высокие огневые напряжения, вопрос о нагреве стволов приобретает первостепенное значение. Источником нагрева ствола при выстреле является тепло, выделяемое при сгорании порохового заряда. Точное определение количества тепла, поглощаемого стволом при выстреле, — задача сложная и трудоемкая, поэтому на практике для приближенной оценки нагрева ствола пользуются следующими данными. Примерно на нагрев стенок ствола идет 10% всей энергии порохового заряда и 25—30% расходуется на сообщение снаряду поступательного движения, т. е. на нагрев ствола используется энергия порохового заряда, равная одной трети кинетической энергии сна-

ряда. Тогда количество тепла, поглощаемое стенками ствола за один выстрел:

$$Q_1 = \frac{1}{3} E_д,$$

где $E_д$ — дульная энергия снаряда, Дж.

Высокая температура и давление пороховых газов, кратковременность процесса выстрела приводят к неравномерному нагреву стенок как по толщине, так и по длине ствола. Кроме того, при выстреле высокая температура пороховых газов непосредственно воздействует на внутреннюю поверхность стенки, вызывая в ней кратковременный температурный пик (рис. 10.21), быстро исчезающий после прекращения теплового действия выстрела. Величина температурного пика в основном зависит от интенсивности и продолжительности теплового воздействия, калибра и длины ствола и достигает 1270—1800° К.

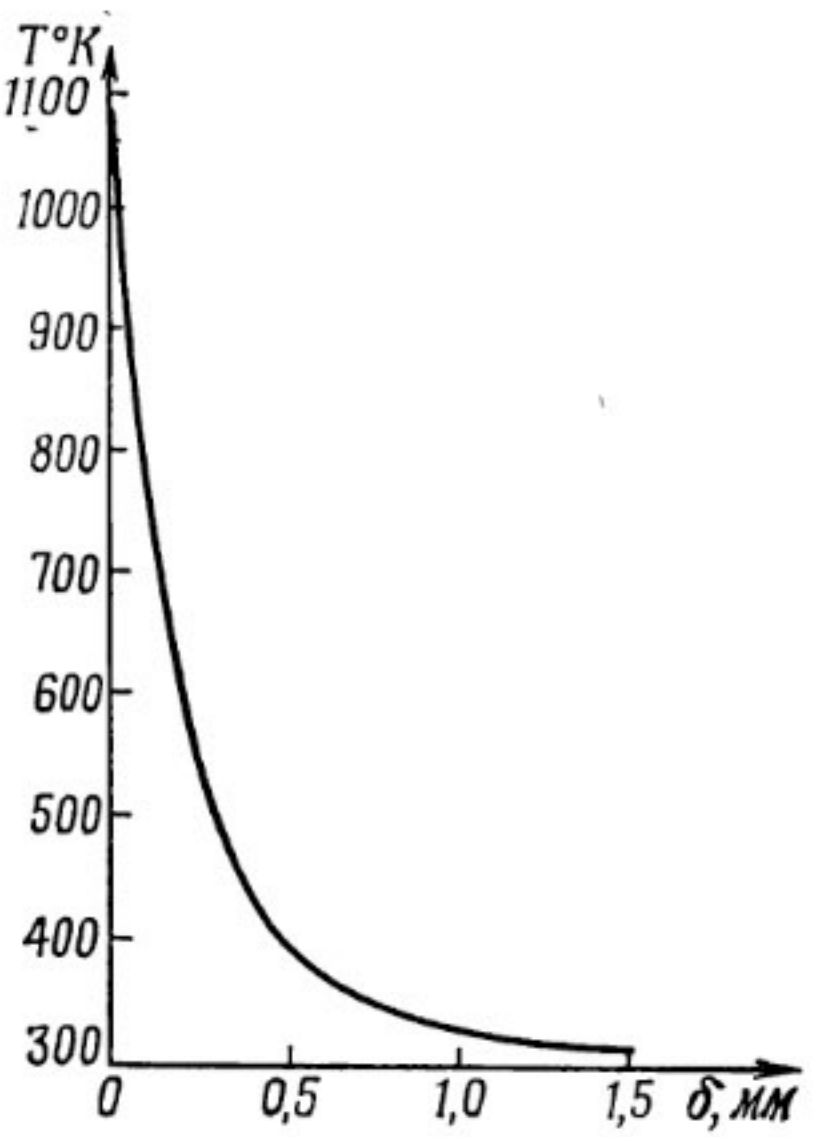


Рис. 10.21. График зависимости нагрева поперечного сечения стенки ствола при первом выстреле

Участки канала ствола, прилегающие к началу нарезов, получают наибольшее количество тепла. По мере удаления от начала нарезов количество тепла, получаемое стволом, падает. Однако после продолжительной стрельбы наибольшая температура на наружной поверхности ствола чаще всего наблюдается у дульной части. Объясняется это сравнительно небольшой толщиной стенок ствола у дульной части.

Среднюю температуру нагрева ствола за один выстрел приближенно определяют по формуле

$$\Delta T_1 = \frac{Q_1}{c \cdot M_{ст}},$$

где $c = 48{,}2 \frac{Дж}{кг \cdot град}$ — удельная теплоемкость стали;

$M_{ст}$ — масса ствола.

Зная, насколько повысится температура ствола за один выстрел, приближенно определяют количество выстрелов n, после которых ствол нагревается до допустимой температуры нагрева $T_{доп}$:

$$n = \frac{T_{доп}}{\Delta T_1}.$$

Допустимая температура нагрева ствола у дула $T_{доп}=540$—$670°$ К. Исходя из этого условия, устанавливают режим огня, учитывая, что нагрев ствола является одним из основных факторов, ограничивающих возможность применения высоких режимов огня. На практике нагрев оценивают по температуре наружной поверхности ствола, так как при этом упрощается ее замер.

Для определения температуры внутренней стенки у начала нарезов используют зависимость

$$T_в = T_н + 100°,$$

где $T_н$ — температура наружной поверхности ствола у казенной части, а у дульной части $T_в = T_н$.

Нагрев влияет на прочность стволов и точность стрельбы. Влияние нагрева на прочность стволов сказывается как через изменение механических характеристик стали, так и через изменение величины и характера распределения напряжения в стенках ствола при выстреле.

Анализ опытных данных, помещенных в табл. 10.3, показывает, что при нагреве предел упругости σ_e и модуль упругости E металла уменьшаются, что ухудшает механические характеристики стали.

Таблица 10.3

Температура стали, °К	293	373	573	773
Модуль упругости стали E, $\frac{Н}{м^2}$	$2060000 \cdot 10^5$	$2035000 \cdot 10^5$	$1930000 \cdot 10^5$	$1730000 \cdot 10^5$
Предел упругости стали σ_e, $\frac{Н}{м^2}$	$10300 \cdot 10^5$	$9320 \cdot 10^5$	$8250 \cdot 10^5$	$6190 \cdot 10^5$

Из-за наличия температурного градиента слои стенок нагретого ствола расширяются неравномерно, поэтому внутренние слои испытывают деформацию сжатия, а наружные — растяжения. В результате в стенках нагретого ствола возникают соответствующие приведенные температурные напряжения $E\varepsilon'_к$ (рис. 10.22). При выстреле напряжения от силы давления пороховых газов и температурные напряжения алгебраически складываются, что приводит к уменьшению тангенциальных напряжений на внутренней поверхности и к увеличению их на наружной поверхности ствола, т. е. происходит упрочнение ствола. Упрочнение ствола от нагрева называется термофретажем. Однако снижение величины механических характеристик металла при нагреве оказывает больше влияния на прочность ствола, чем благоприятное распределение напряжений в стенках, т. е. термофретирование его, поэтому прочность ствола при нагреве уменьшается.

Влияние нагрева на кучность и меткость стрельбы сказывается через увеличение калибра и изгиб ствола. Увеличение калибра ствола, особенно у дульной части, приводит к росту зазора между снарядом и полями нарезов (до 0,5 мм), а это вызывает биение снаряда при его движении по каналу ствола, следствием чего является увеличение угла нутации (колебательного движения вращающегося тела) снаряда.

Возрастание нутационных колебаний вызывает увеличение угла вылета и уменьшение начальной скорости снаряда. Изменение этих характеристик существенно ухудшает кучность и меткость стрельбы.

Изгиб ствола при нагреве происходит из-за возникновения неравномерного температурного напряжения как по длине ствола, так и по поперечному сечению. Изгиб ствола приводит к изменению угла вылета снаряда. Причем от выстрела к выстрелу кривизна ствола изменяется, а следовательно, изменяется и угол вылета. Например, у одного опытного ствола при нагреве наружной поверхности от 473 до 673° К радиус кривизны изменяется от 220 до 188 м.

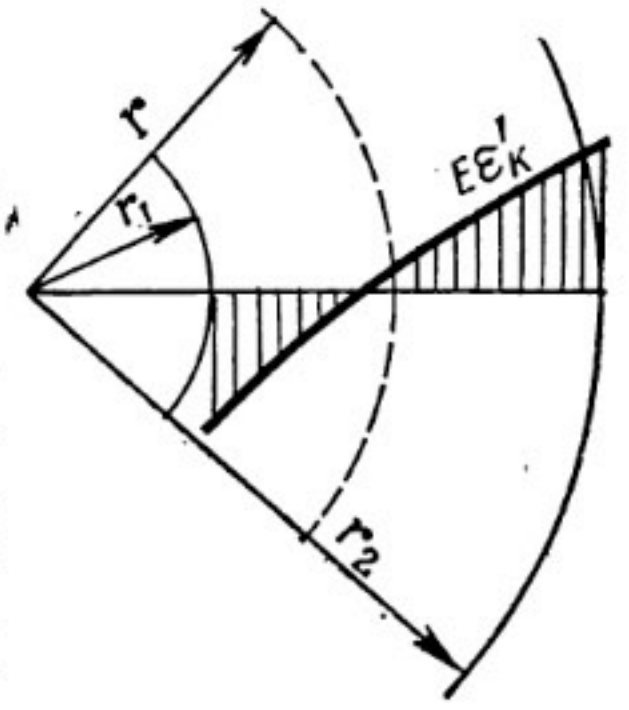


Рис. 10.22. Эпюры температурных приведенных напряжений в поперечном сечении стенки ствола

Особенно быстро увеличивается изгиб при значительной разностенности стенок ствола. В этом случае изгиб ствола происходит выпуклостью в сторону более толстой стенки.

Допускаемая при изготовлении стволов разностенность до 3 мм при нагреве ствола может приводить к увеличению отклонений разрыва снарядов до 20 м при стрельбе на дальность 1500 м.

Сильное влияние на кучность и меткость стрельбы из разогретого ствола оказывает одностороннее охлаждение под действием ветра или дождя, которое искривляет ствол в сторону, откуда происходит охлаждение.

Для уменьшения нагрева ствола следует:

— охлаждать ствол в перерывах между выстрелами, если позволяют условия боевой обстановки (за 1 ч температура ствола в среднем понижается с 573 до 373° К);

— не превышать установленный для орудия режим огня, так как увеличение его сильно влияет на нагрев ствола;

— стрельбу вести на уменьшенных зарядах, если это позволяет выполнить боевую задачу;

— боевые заряды изготовлять из «холодных порохов»;

— применять искусственное охлаждение стволов.

Следует учесть, что при нагреве стволов до 570—620° К прочность ствола нарушается незначительно, а сильно изменяются кучность и меткость стрельбы.

В процессе эксплуатации стволов происходит износ канала, который характеризуется сравнительно равномерным уве-

личением диаметра как по полям, так и по нарезам. Износ канала ствола, т. е. изменение контура канала ствола, размеров и качественного состояния его элементов (каморы, нарезов), возникает вследствие многократно повторяемого чрезвычайно мощного воздействия на его поверхности пороховых газов и ведущих частей снарядов.

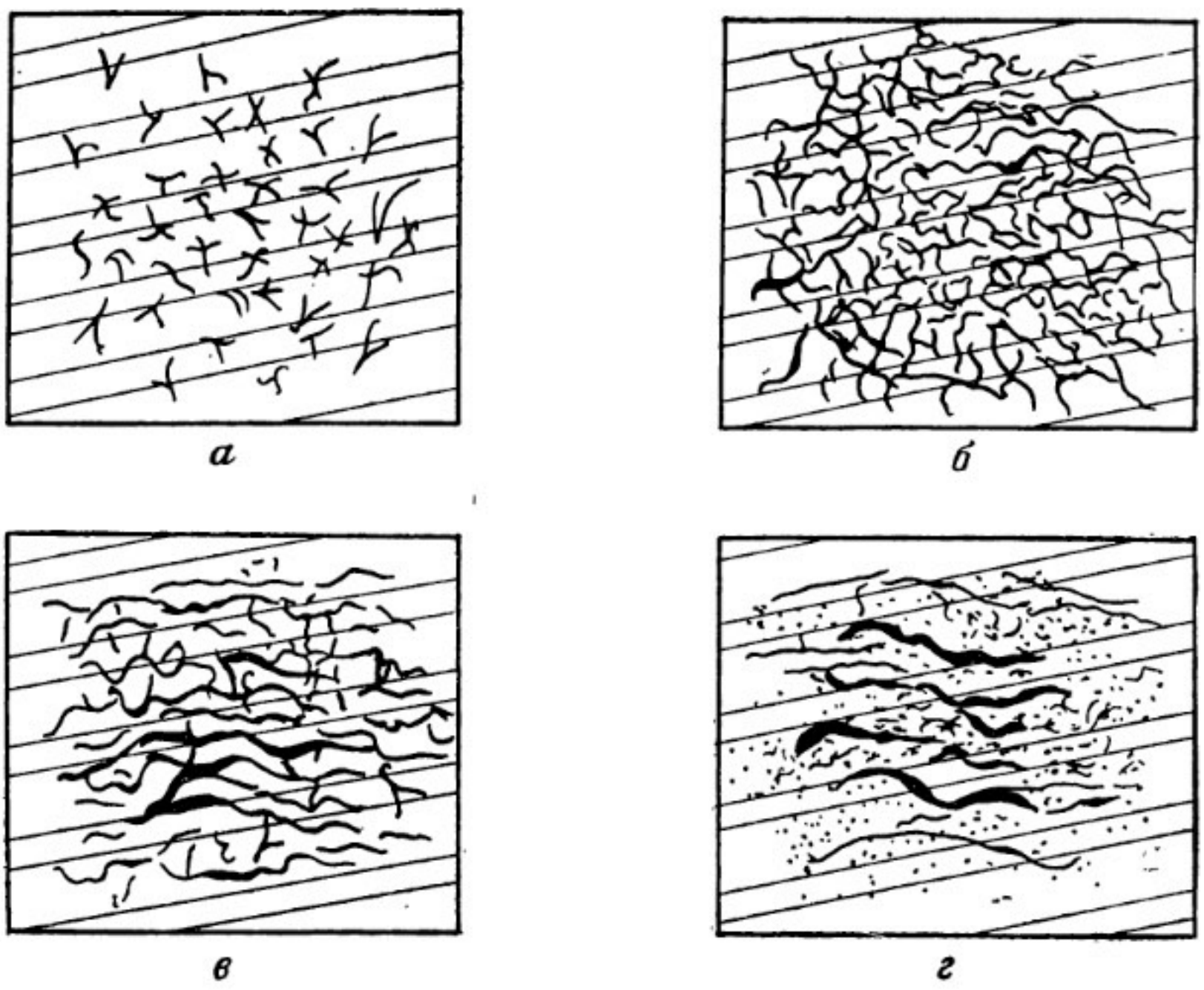


Рис. 10.23. Виды износа стенки ствола:
а — мелкие трещины; *б* — сетка с замкнутыми нитями;
в, *г* — сориентированные трещины

Процесс износа канала ствола относится к весьма сложному явлению и протекает в результате действия на металл следующих факторов:

— теплового воздействия пороховых газов, вызывающего температурные напряжения в стенках ствола и, как следствие, появление мелких закалочных трещин;

— химического действия пороховых газов, которое изменяет структуру поверхностного слоя канала ствола из-за его цементирования и азотирования;

— эррозионного действия пороховых газов, вызывающего механическое удаление мельчайших частичек металла с поверхности канала и образование трещин;

— механического действия ведущих частей снаряда на поверхность ведущей части канала, которое образует наклеп, снижает вязкость и стирает стенки.

Уже после первых выстрелов, произведенных из вновь изготов-

ленного ствола, в начале нарезов можно наблюдать появление мелких трещин (рис. 10.23, *а*).

По мере дальнейшей стрельбы (после 200—300 выстрелов) трещины увеличиваются и образуют сетку с замкнутыми петлями, постепенно распространяющуюся по каналу в направлении к дулу (рис. 10.23, *б*); при этом наблюдаются сплющивание и стирание полей в начале нарезов.

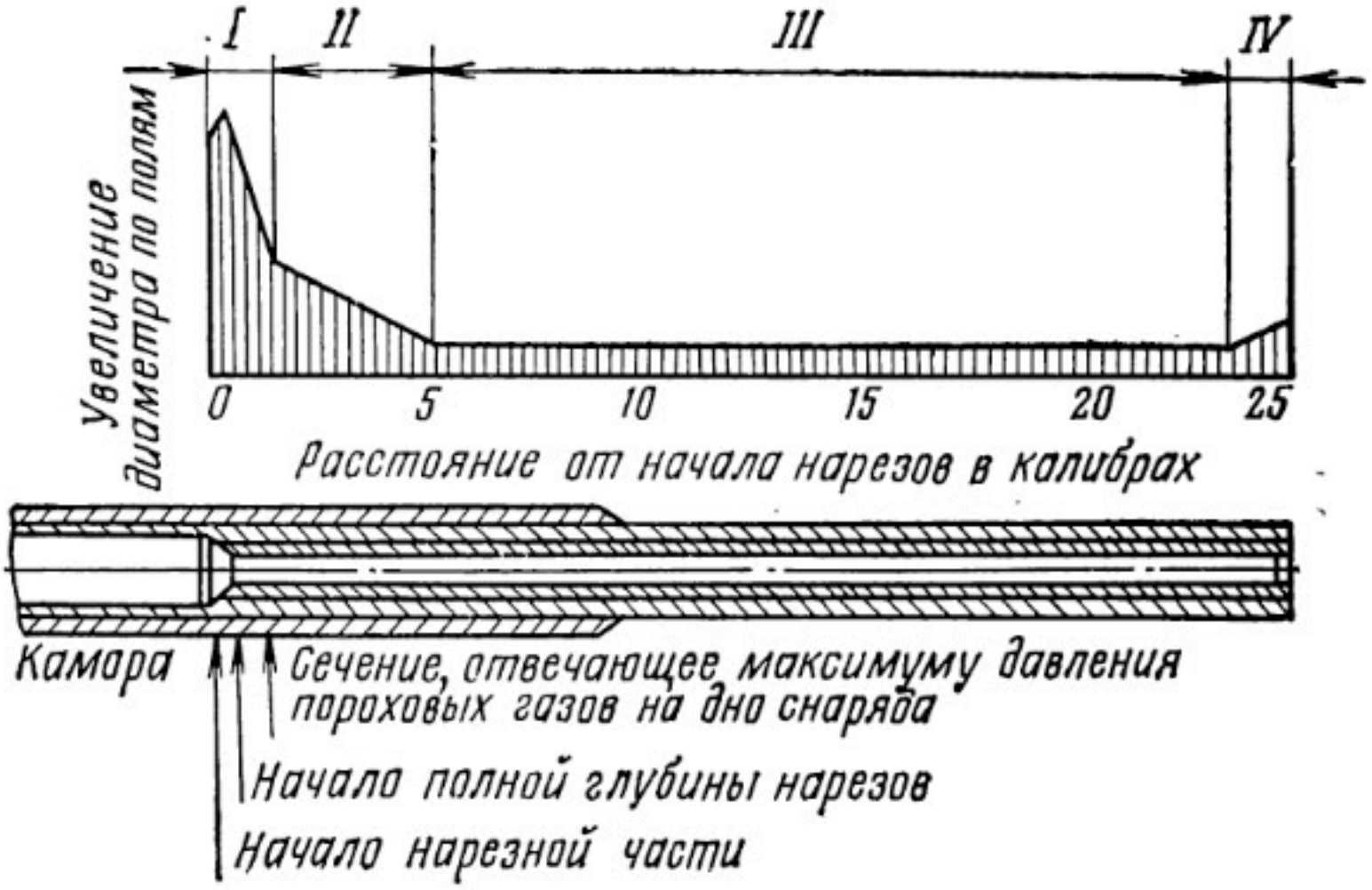


Рис. 10.24. График зависимости износа канала от длины ствола

После 1000—2000 выстрелов большинство трещин будут сориентированы вдоль оси канала ствола из-за эррозионного действия пороховых газов (рис. 10.23, *в*, *г*), кроме того, наблюдается выкол полей у начала нарезов. Боевые грани стираются, поля округляются. Износ ведущей части ствола происходит неравномерно как в поперечном сечении, так и по длине ствола. Установлено, что в поперечном сечении износ характеризуется увеличением диаметра канала по полям, в два-три раза превосходящим увеличение диаметра по нарезам, в результате чего глубина нарезов уменьшается и грани их сглаживаются. Для орудий средней мощности износ полей нарезов по длине, характеризуемый увеличением диаметра, можно разделить на четыре участка (рис. 10.24).

Участок I характеризуется наибольшим увеличением диаметра канала ствола. Образуется в области соединительного конуса на длине 2—3 калибра от начала нарезов. В этом месте особенно интенсивно изнашиваются поля, в результате чего зарядная камора удлиняется. Наибольший износ в начале нарезов является следствием увеличенного трения при вдавливании ведущего пояска, вызывающего высокий нагрев участка ствола в начале нарезов, и в результате повышенного эррозионного разрушения пороховыми газами, истекающими через зазоры, образующиеся между пояском и нарезами еще при неподвижном снаряде.

Участок II характеризуется постепенным уменьшением износа в направлении к дульной части ствола и образуется на длине 4—8 калибров от начала нарезов.

Участок III подвергается наименьшему износу и занимает наибольшую длину канала ствола.

Участок IV характеризуется увеличением износа по сравнению с третьим участком и образуется на длине до двух калибров от дульного среза. Увеличение износа у дульной части происходит из-за того, что при вылете снаряда из дульной части ствола коническая запоясковая часть снаряда открывает кольцевое отверстие, через которое прорываются газы. Прорыв пороховых газов вызывает оплавление и вынос поверхностного слоя металла канала ствола.

Износ канала ствола приводит к изменению таких баллистических параметров орудия, как наибольшее давление пороховых газов, начальная скорость и рассеивание снарядов. Падение максимального давления обусловлено в первую очередь уменьшением плотности заряжания из-за увеличения длины каморы заряжания, сопротивления врезанию ведущего пояска в нарезы, а также увеличения износа ведущей части канала. Уменьшение начальной скорости происходит вследствие падения максимального давления и прорыва части пороховых газов между поверхностью канала ствола и ведущим пояском снаряда. Повышение рассеивания снарядов из-за износа ствола вызывается биением снаряда при его движении по каналу ствола, увеличением угла нутации, что приводит к рассеиванию угла вылета снаряда и ухудшению кучности стрельбы. Кроме того, падение максимального давления пороховых газов приводит к резкому снижению взведения взрывателей.

Под живучестью артиллерийских стволов понимается их способность противостоять износу и возможно дольше сохранять свои баллистические качества. Живучесть, или баллистическая жизнь, стволов определяется временем, в течение которого ствол обеспечивает получение заданного максимального давления пороховых газов, требуемой начальной скорости снаряда и кучности стрельбы. Обычно живучесть стволов оценивается количеством выстрелов на полном заряде, которое может быть сделано до выхода ствола из строя вследствие износа.

Установлено, что ствол достигает предела живучести, если при стрельбе появляется один из следующих критериев:

— произошло падение начальной скорости снаряда до 10%;

— максимальное давление пороховых газов уменьшилось до величины, при которой не происходит взведение свыше 30% основных взрывателей при стрельбе на наименьшем заряде;

— произведение величин вероятного отклонения по дальности $B_д$ на вероятное боковое отклонение $B_б$ увеличилось в восемь раз по сравнению с табличным.

Живучесть стволов меняется в очень широких пределах, быстро уменьшаясь с увеличением мощности и калибра орудия при сохра-

нении других параметров относительно одинаковыми. Средняя живучесть стволов, гаубиц и пушек малой и средней мощности характеризуется тысячами выстрелов, мощных пушек — сотнями выстрелов, а особо мощных орудий крупных калибров — десятками выстрелов.

Живучесть орудийных стволов зависит не только от количества выстрелов, но в большей степени и от подготовки орудия к стрельбе, условий ведения стрельбы, соблюдения режимов огня, ухода за стволом, его сбережения и состояния боеприпасов.

Для повышения живучести ствола перед стрельбой удаляют смазку из канала ствола и внимательно его осматривают. Это уменьшает образование нагара, устраняет посторонние твердые частицы из канала.

Важное значение для увеличения живучести ствола имеет правильная подготовка боеприпасов. С корпусов снарядов следует удалять смазку, а ведущие части необходимо слегка смазать. Особенно внимательно надо следить за тем, чтобы со снарядом не вносились в канал ствола песчинки и другие твердые частицы.

У выстрелов раздельного заряжания необходимо полностью до «закусывания» досылать снаряд. Это обеспечивает правильное функционирование ведущего пояска, исключает его удар в соединительный конус при выстреле, создает лучшую обтюрацию пороховых газов. Досылка снарядов без «закусывания» может привести к отпусканию его при придании стволу угла возвышения, что может вызвать при выстреле срыв ведущего пояска снаряда и раздутие ствола вследствие повышения давления пороховых газов из-за увеличения плотности заряжания.

Существенное влияние на живучесть ствола оказывают соблюдение режимов огня и применение уменьшенных зарядов во всех случаях, когда выполнение боевой задачи не требует стрельбы на полном заряде.

Увеличивает живучесть стволов и строгое соблюдение правил чистки и смазывание канала ствола.

Для определения качественного состояния стволов проводят их категорирование. В зависимости от степени износа и ухудшения баллистических свойств все стволы делятся на первую, вторую и пятую категории.

К первой категории относятся новые, не бывшие в непосредственной эксплуатации стволы.

Ко второй категории относятся стволы, находящиеся или бывшие в непосредственной эксплуатации, удлинение зарядной каморы или износ канала которых не вышел за пределы специально установленных норм, годные к боевому использованию.

К пятой категории относятся стволы, у которых удлинение зарядной каморы или износ канала ствола вышел за пределы специально установленных норм, т. е. стволы, у которых наступила баллистическая смерть.

Нарезные стволы переводят в пятую категорию по величине удлинения зарядной каморы Δl, которая определяется по формуле

$$\Delta l = l_1 - l_0,$$

где l_1 — условная длина зарядной каморы категорируемого ствола, мм;

l_0 — первоначальная условная длина зарядной каморы, мм; указывается в формуляре, в таблицах стрельбы и в инструкции по категорированию.

Условная длина зарядной каморы l_1 определяется прибором замера каморы (ПЗК).

Гладкостенные стволы переводят в пятую категорию по величине диаметрального износа ведущей части канала Δd_i, измеренного в трех разноудаленных сечениях прибором контроля износа (ПКИ).

ГЛАВА 11

ЗАТВОРЫ

§ 11.1. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ЗАТВОРОВ

Затвором называется устройство, предназначенное для надежного запирания канала ствола при выстреле, для производства выстрела и для выбрасывания гильз после выстрела или осечки.

Затворы артиллерийских орудий классифицируются по следующим основным признакам:

— по степени автоматизации;
— по типу запирающего звена;
— по способу обтюрации пороховых газов.

По степени автоматизации затворы подразделяются на автоматические, полуавтоматические и неавтоматические.

Если все операции по производству выстрела (открывание затвора, заряжание орудия, закрывание затвора и спуск ударного механизма) происходят за счет энергии пороховых газов или энергии, подводимой извне, то такие затворы называются автоматическими. Автоматические затворы применяются в орудиях с высокой скорострельностью, например в зенитных пушках.

Если у затвора часть операций по производству выстрела осуществляется вручную, а часть автоматически, то такие затворы называются полуавтоматическими. Этот тип затворов получил наибольшее распространение в современных орудиях (Д-30, Д-20, М-99 и др.).

Неавтоматические затворы — это такие, у которых все операции по производству выстрела осуществляются вручную. Такие затворы обычно применяют у орудий крупного калибра, скорострельность которых невысокая.

По типу запирающего звена затворы артиллерийских орудий подразделяют на клиновые и поршневые.

Затворы, у которых основным запирающим звеном служит призматический клин *1* (рис. 11.1), называют клиновым. Клиновые затворы бывают с вертикальным и горизонтальным перемещением клина в казеннике.

Затворы, у которых основным запирающим звеном служит поршень (рис. 11.5), называются поршневыми.

По способу обтюрации пороховых газов затворы бывают гильзовой и безгильзовой обтюрации. У затвора гильзовой обтюрации роль обтюратора пороховых газов выполняют гильзы, а у затвора безгильзовой обтюрации — специальное обтюрирующее устройство (пластический обтюратор, упругий обтюратор и др.).

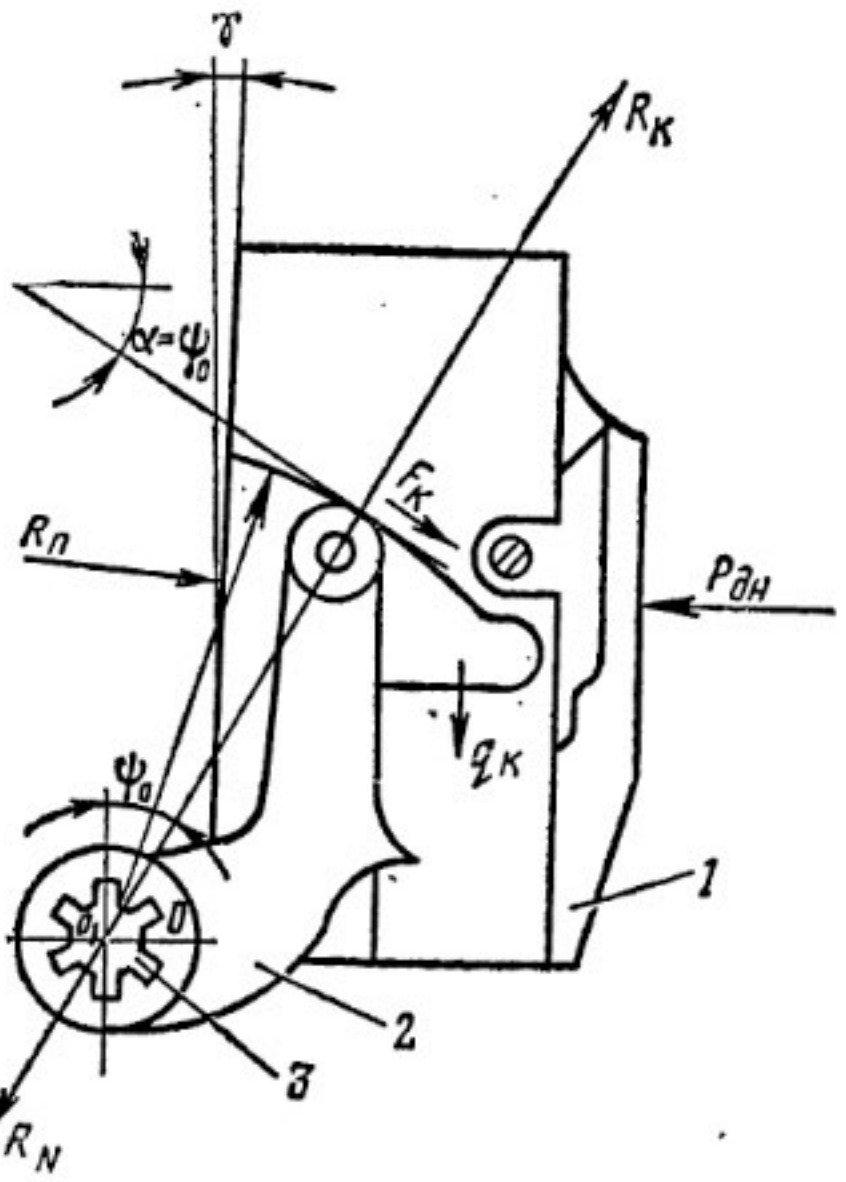


Рис. 11.1. Клиновой запирающий механизм:
1 — клин; *2* — кривошип; *3* — ось кривошипов

Независимо от типа затвора к нему предъявляются следующие основные требования:

1. Надежность запирания канала ствола при выстреле, при котором исключается возможность вырывания затвора или его самооткрывания в момент выстрела. Надежность запирания обеспечивается прочностью и жесткостью всех деталей, воспринимающих силу давления пороховых газов, а также хорошей обтюрацией пороховых газов.

2. Безопасность действия затвора, которая достигается наличием предохранителей и блокирующих устройств, исключающих возможность выстрела при незапертом затворе и открывания затвора вручную, пока не произошел выстрел, возможность производства выстрела при неполном или неправильном соединении ствола с противооткатными устройствами.

3. Безотказность действия в любых условиях эксплуатации, которая обеспечивается нормальным функционированием механизмов затвора при загрязнении и запылении; нечувствительности к частой разборке и сборке.

4. Удобство в обращении при эксплуатации, которое обеспечивается удобным открыванием и закрыванием затвора при всех углах возвышения, возможностью повторного взведения ударного механизма при осечках, простотой и легкостью замены наиболее ответственных частей затвора.

В соответствии с назначением и требованиями, предъявляемыми к затвору, он состоит, как правило, из следующих основных механизмов:

— запирающего механизма;
— ударного механизма;
— выбрасывающего механизма;
— предохранительных механизмов;
— вспомогательных механизмов;
— полуавтоматики;
— досылателей и автоматов.

§ 11.2. ЗАПИРАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

Запирающие механизмы предназначаются для надежного запирания канала ствола при выстреле. Существуют следующие основные виды этих механизмов:

— клиновые запирающие механизмы гильзовой обтюрации;
— клиновые запирающие механизмы безгильзовой обтюрации;
— поршневые запирающие механизмы гильзовой обтюрации;
— поршневые запирающие механизмы безгильзовой обтюрации.

Клиновые запирающие механизмы гильзовой обтюрации (рис. 11.1) состоят из клина *1*, кривошипа *2* (одного или двух) с осью *3*.

Клин *1* представляет собой призматическую деталь, передняя поверхность которой называется зеркалом и выполнена перпендикулярно оси канала ствола, а задняя опорная грань наклонена к передней под углом $\gamma = 1°20' \div 1°40'$. Наклон клина облегчает открывание и закрывание затвора и обеспечивает досылание гильзы в камору.

Кривошип *2* предназначен для перемещения клина при открывании и закрывании затвора и служит замыкающим звеном механизма.

Запирание канала ствола этим механизмом происходит следующим образом. Кривошип, поворачиваясь вместе с осью, давит на фигурный вырез клина и перемещает его вертикально или горизонтально в гнезде казенника. Так как задняя грань наклонена к зеркалу, то движение клина происходит не только вертикально или горизонтально, но и несколько вперед. При этом клин передней гранью досылает гильзу в камору и, занимая определенное положение, запирает канал ствола. Кривошип не дает возможности перемещаться клину в обратном направлении.

Для надежного запирания канала ствола необходимо исключить перемещение клина под действием на него сил при выстреле, т. е. для этого следует обеспечить условие самоторможения клина и иметь замыкающее звено в механизме.

Условие самоторможения клина достигается выбором соответствующего угла наклона задней грани клина γ. Требуемая величина угла γ определяется из уравнений равновесия клина при выстреле. Уравнения равновесия клина на основе схемы сил, действующих на него при выстреле (рис. 11.2), запишутся в следующем виде:

$$\sum P_x = R_п \cos\gamma + F_1 \sin\gamma + F_{ин} - P_{дн} = 0; \qquad (11.1)$$

$$\sum P_д = -R_п \sin\gamma + F_1 \cos\gamma + F_2 - q_к = 0, \qquad (11.2)$$

где $P_{дн}$ — сила давления пороховых газов на зеркало клина;
$R_п$ — нормальная реакция на клин со стороны опорных поверхностей казенника;

F_1 — сила трения, действующая со стороны опорных поверхностей казенника;

$$F_1 = f_1 R_п; \tag{11.3}$$

F_2 — сила трения, действующая на клин со стороны дна гильзы;

$$F_2 = f_2 P_{дн}; \tag{11.4}$$

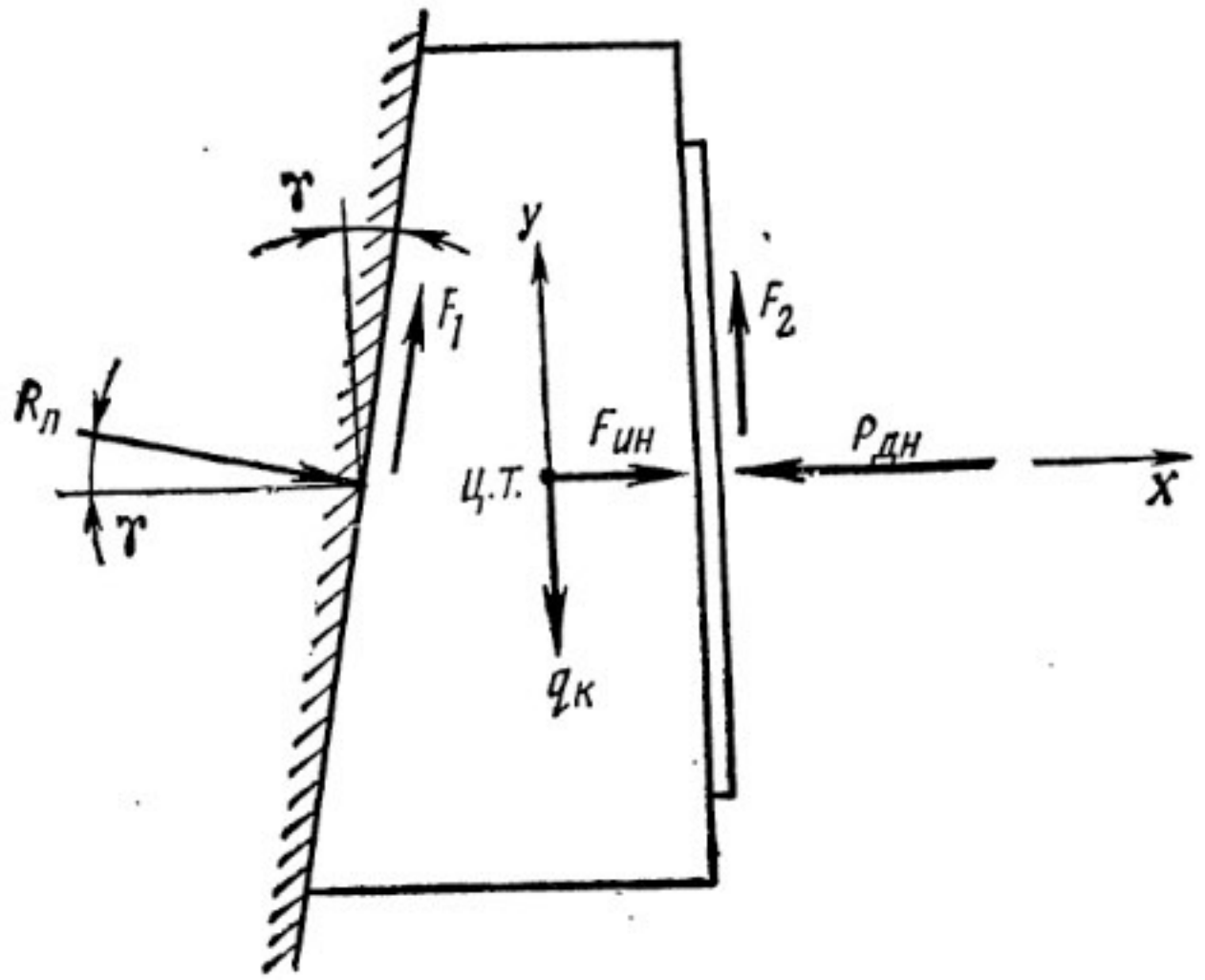


Рис. 11.2. Схема сил, действующих на клин при выстреле

$F_{ин}$ — сила инерции клина;
$q_к$ — сила тяжести клина;
f_1, f_2 — коэффициенты трения.

Подставляя значение F_1 из выражения (11.3) в уравнение (11.1) и решая его относительно $R_п$, получим

$$R_п = \frac{P_{дн} - F_{ин}}{\cos\gamma + f_1 \sin\gamma}. \tag{11.5}$$

Так как $\gamma \leqslant 1°40'$, а $f_1 = 0{,}1$, то с погрешностью, не превышающей 1%, можно принять $\cos\gamma + f_1 \sin\gamma = 1$; поскольку $P_{дн} \gg F_{ин}$, то выражение (11.5) можно записать так:

$$R_п = P_{дн}. \tag{11.6}$$

Подставив выражения (11.4) и (11.6) в уравнение (11.2), получим

$$-P_{дн}\sin\gamma + f_1 P_{дн}\cos\gamma + f_2 P_{дн} - q_к = 0. \tag{11.7}$$

Анализ уравнения (11.7) показывает, что составляющие $P_{дн}\sin\gamma + q_к = T$ создают равнодействующую силу, стремящуюся вытолкнуть клин из гнезда, а составляющие $f_1 P_{дн}\cos\gamma + f_2 P_{дн} = F$

создают равнодействующую силу, которая удерживает клин в казеннике. Следовательно, условия равновесия клина будут следующими:

$$T \leqslant F$$

или

$$P_{дн} \sin \gamma + q_к \leqslant f_1 P_{дн} \cos \gamma + f_2 P_{дн}. \qquad (11.8)$$

Разделив обе части неравенства (11.8) на $P_{дн}\cos\gamma$ и приняв $\cos\gamma \simeq 1$, получим

$$\operatorname{tg}\gamma + \frac{q_к}{P_{дн}} \leqslant f_1 + f_2. \qquad (11.9)$$

Пренебрегая членом $\frac{q_к}{P_{дн}}$, получим уравнение (11.9) в следующем виде:

$$\operatorname{tg}\gamma \leqslant f_1 + f_2. \qquad (11.10)$$

Принимая $f_1 = f_2 = f$ и $\operatorname{tg}\gamma = \gamma$, так как угол γ мал, получим

$$\gamma \leqslant 2f. \qquad (11.11)$$

Уравнение (11.11) является условием самоторможения клина, т. е. клин будет самотормозящим, если угол наклона его задней грани γ будет меньше удвоенного значения коэффициента трения.

Величина коэффициента трения зависит от состояния соприкасающихся поверхностей, свойств и качества применяемой смазки и условий эксплуатации. Кроме того, коэффициент трения зависит в определенных пределах от количества смазки на опорных поверхностях. При слегка смазанном клине $f = 0{,}05$, а при обильно смазанном клине $f = 0{,}009$.

Угол наклона задней грани клина γ делается в интервале от 1°20′ до 1°40′ и соответственно в радианах $0{,}023 \div 0{,}029$.

Нижний предел угла γ ограничивается возрастанием усилия, необходимого для открывания и закрывания клина, а верхний — трудностью обеспечения условия самоторможения.

Сопоставление значений угла γ и коэффициента трения f показывает, что условие самоторможения для $\gamma = 0{,}023$ и $f = 0{,}009$ не выполняется. Поэтому орудия с обильно смазанным клином не следует допускать к стрельбе.

Условие самоторможения недостаточно для надежного запирания канала ствола клином по следующим причинам:

— в современных орудиях закрывание клина происходит с большими скоростями, при которых из-за отскока клина возможно самопроизвольное отпирание затвора;

— в процессе эксплуатации возможны случаи нарушения условия самоторможения клина из-за обильной смазки опорных поверхностей.

Поэтому в запирающем механизме для обеспечения надежного запирания кроме выполнения условия самоторможения клина предусмотрено замыкающее звено, которое исключает самопроиз-

вольное отпирание канала ствола в случае нарушения условия самоторможения клина. Как правило, роль замыкающего звена выполняет кривошип.

При нарушении условия самоторможения (11.11) на кривошип со стороны клина действует сила R_N (рис. 11.1), стремящаяся повернуть кривошип. Вектор силы R_N приложен к кривошипу и направлен нормально к касательной, проведенной к пазу клина в точке касания ролика кривошипа. Кроме того, в этом случае между кривошипом и клином возникает сила трения

$$F_к = f_к R_N, \tag{11.12}$$

где $f_к$ — коэффициент трения между кривошипом и клином.

Для надежного запирания канала ствола в случае нарушения условия самоторможения необходимо, чтобы кривошип, обеспечивая силу реакции на клин $R_К = R_N$, не поворачивался относительно точки O.

Реакцию $R_к$ (рис. 11.1) определяют из уравнения равновесия клина при выстреле относительно оси Y, которое имеет следующий вид:

$$\sum F_y = -R_п \sin\gamma + F_1 \cos\gamma + F_2 - q_к + \\ + R_к \cos\alpha - F_к \sin\alpha = 0, \tag{11.13}$$

где α — угол наклона касательной к запирающему пазу клина в точке касания ролика кривошипа.

С учетом зависимостей (11.3) и (11.4), решая уравнение (11.13) относительно $R_к$ и считая $f_1 = f_2 = f_к = f$, находят

$$R_к = P_{дн} \frac{\sin\gamma - f\cos\gamma - f}{\cos\alpha - f\sin\alpha} + \frac{q_к}{\cos\alpha - f\sin\alpha} \tag{11.14}$$

или, преобразуя зависимость (11.14) подобно тому, как было сделано при выводе условия самоторможения (11.11), получают

$$R_к = (\operatorname{tg}\gamma - 2f) \frac{P_{дн} \cdot \cos\gamma}{\cos\alpha - f\sin\alpha} + \frac{q_к}{\cos\alpha - f\sin\alpha}. \tag{11.15}$$

Анализ зависимости (11.15) показывает, что значение силы $R_к$ в основном определяется величиной члена $\operatorname{tg}\gamma - 2f$, т. е. степенью нарушения условия самоторможения клина.

Прочностной расчет кривошипов производят по величине силы $R_к$. Для исключения поворота кривошипа с осью под воздействием сил R_N и $F_к$ необходимо, чтобы момент сил относительно этой оси был равен нулю или был направлен в сторону закрывания клина.

В клиновых затворах в зависимости от положения вектора силы R_N различают три схемы положения центра кривизны паза.

В первой схеме (рис. 11.3, *а*) центр кривизны паза лежит левее оси кривошипа, и направление действия силы R_N проходит левее оси вращения кривошипа, а момент от силы, действующей на кривошип, будет препятствовать опусканию клина. В этом случае кривошип стремится повернуться против хода часовой стрелки, а

сила трения, приложенная к нему, будет направлена в противоположную сторону. Поэтому условие, исключающее перемещение клина вниз, выражается следующим неравенством:

$$F_к\, l \cos(\alpha - \psi_0) \leqslant R_N \cdot l \sin(\alpha - \psi_0), \qquad (11.16)$$

где l — радиус кривошипа;

α — угол между нормалью к поверхности дугового паза в точке касания кривошипа и вертикальной плоскостью;

ψ_0 — угол между радиусом кривошипа и вертикальной плоскостью.

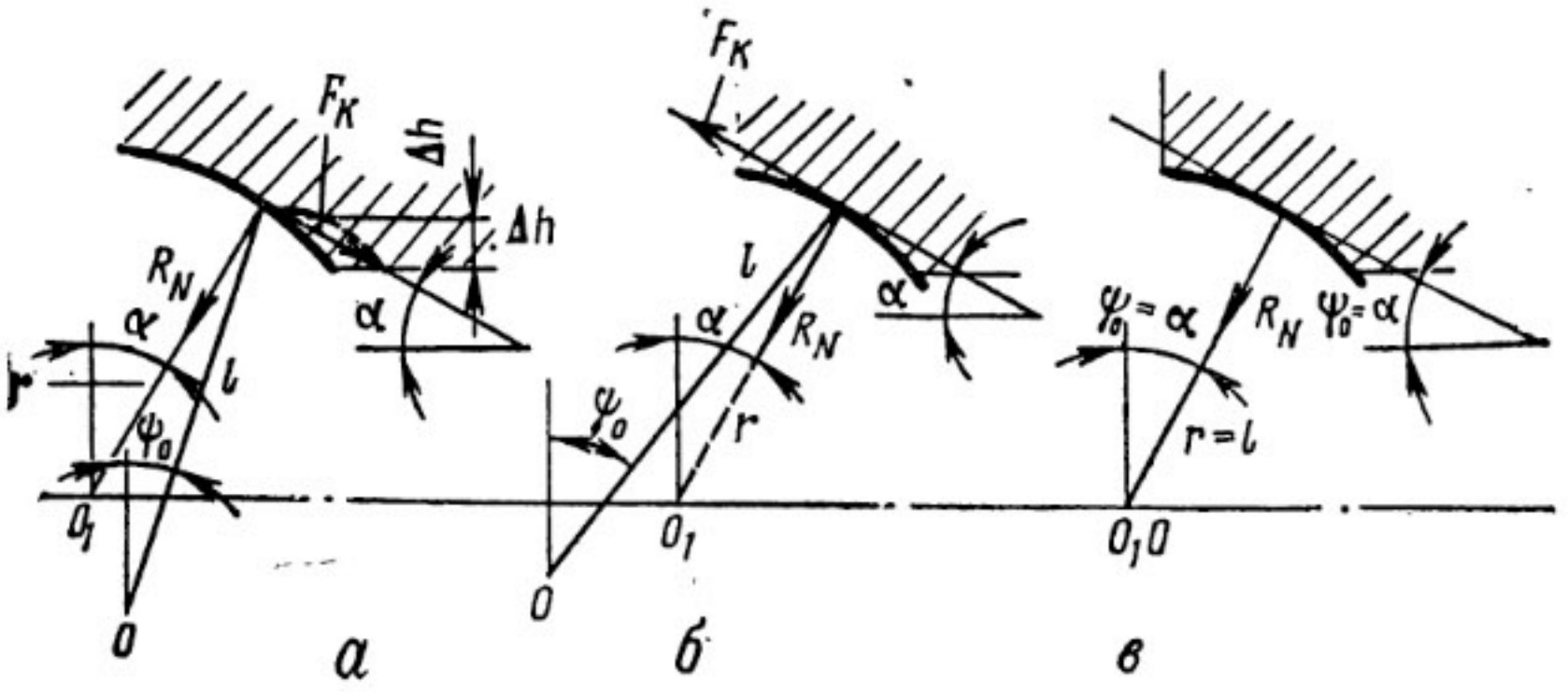


Рис. 11.3. Действие реакции клина на кривошип:

а — реакция клина проходит левее центра вращения кривошипа; *б* — реакция клина проходит правее центра вращения кривошипа; *в* — реакция клина проходит через центр вращения кривошипа

С учетом зависимости (11.12) условие (11.16) запишется так:

$$f_к R_N l \cos(\alpha - \psi_0) \leqslant R_N l \sin(\alpha - \psi_0), \qquad (11.17)$$

откуда

$$f_к \leqslant \operatorname{tg}(\alpha - \psi_0). \qquad (11.18)$$

Так как $f_к = \operatorname{tg} \rho_з$, где $\rho_з$ — угол трения, то

$$\psi_0 \leqslant \alpha - \rho_з, \qquad (11.19)$$

т. е. для надежного запирания начальный угол установки кривошипа должен быть меньше разности угла наклона нормали дугового паза в точке касания ролика кривошипа α и угла трения $\rho_з$. Следовательно, запирание клина будет тем надежнее, чем меньше коэффициент трения между роликом и клином.

При такой схеме затрудняется открывание затвора, так как, прежде чем начать движение вниз, клин должен приподняться вверх на величину Δh. Эта схема обеспечивает хорошую надежность запирания ствола в случае нарушения условия самоторможения и не требует постановки специальных стопоров для исключения поворота кривошипа.

Вторая схема — центр кривизны паза лежит правее оси вращения кривошипа (рис. 11.3, *б*). При такой схеме сила вызывает поворот кривошипа в сторону открывания клина. Сила трения при

этом препятствует открыванию клина. В этом случае условие, исключающее поворот кривошипа, т. е. опускание клина, будет следующее:

$$F_к l \cos(\psi_0 - \alpha) \geqslant R_N l \sin(\psi_0 - \alpha), \qquad (11.20)$$

или

$$f_к R_N l \cos(\psi_0 - \alpha) \geqslant R_N l \sin(\psi_0 - \alpha), \qquad (11.21)$$

откуда

$$f_к \geqslant \operatorname{tg}(\psi_0 - \alpha), \qquad (11.22)$$

так как

$$f_к = \operatorname{tg} \rho_з,$$

то

$$\psi_0 \leqslant \alpha + \rho_з, \qquad (11.23)$$

т. е. для надежного запирания начальный угол установки кривошипа ϕ_0 должен быть меньше суммы угла наклона нормали дугового паза в точке касания ролика кривошипа α и угла трения $\rho_з$.

Из анализа условия (11.23) следует, что запирание клина будет тем надежнее, чем больше коэффициент трения. Поэтому целесообразно при такой схеме расположения центра кривизны паза ролик кривошипа заменить шипом, т. е. трение качения заменить скольжением.

Клин, имеющий такую схему положения центра кривизны, легко открывается, но не обеспечивает надежности запирания, поэтому в конструкции таких запирающих механизмов необходимо иметь стопорное устройство, которое препятствует повороту кривошипа. В частности, таким стопорным устройством в затворе с полуавтоматикой является пружина закрывающего механизма.

В третьей схеме конструкции кривошипа (рис. 11.3, *в*) вектор силы R_N проходит через ось вращения кривошипа, а направление силы $F_к$ зависит от направления движения кривошипа. При такой схеме паза затвор легко открывается и надежно запирается, так как сила R_N не создает момента ни на открывание, ни на закрывание. В условиях производства получить данную схему в чистом виде трудно из-за допусков на изготовление.

Прочность клинового запирающего механизма обеспечивается выбором определенных размеров и формы деталей на основании их расчета.

Клин в первом приближении рассчитывается как балка, лежащая на двух опорах (рис. 11.4) и имеющая длину пролета $l = D_{дп}$, ширину $b = D_{дн}$, где $D_{дн}$ — диаметр камеры у казенного среза.

Для этого случая расчетная формула определения высоты клина будет иметь вид

$$h = 0{,}77\, D_{дн} \sqrt{\frac{P_{дн\,m}}{[\sigma_и]}}, \qquad (11.24)$$

где $P_{дн\,m}$ — максимальное давление газов на дно канала ствола;
$[\sigma_и]$ — допустимое напряжение на изгиб для материала клина.

Уточненный расчет клина на прочность производят после установления формы и размеров вырезов в клине для деталей механизмов затвора. Имеются и другие методы расчета клина.

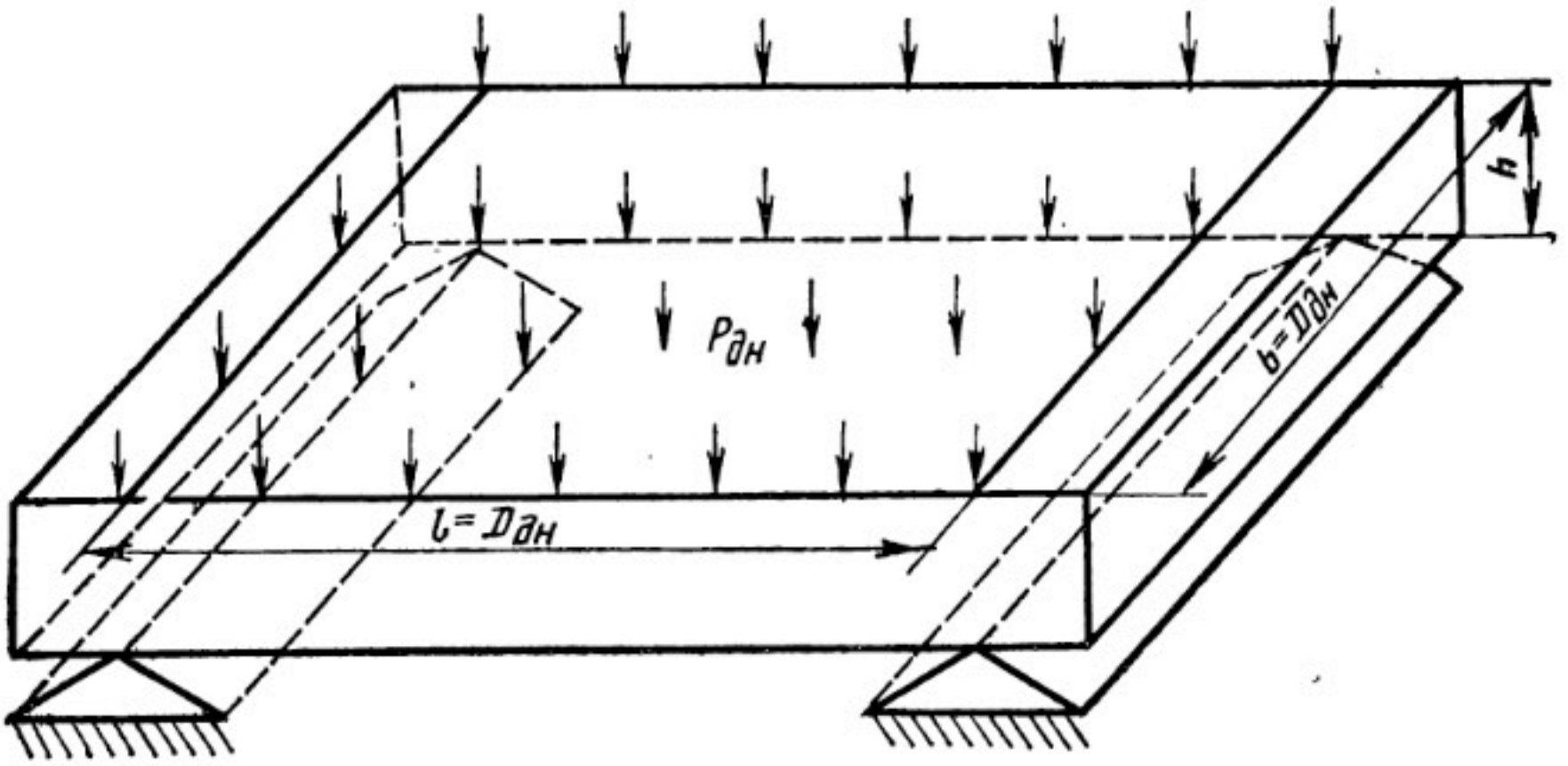


Рис. 11.4. Расчетная схема клина как балки

Основной деталью поршневого запирающего механизма является поршень с секторными выступами (рис. 11.5). Поршень представляет собой деталь, на наружной поверхности которой для быстроты открывания и закрывания затвора сделаны

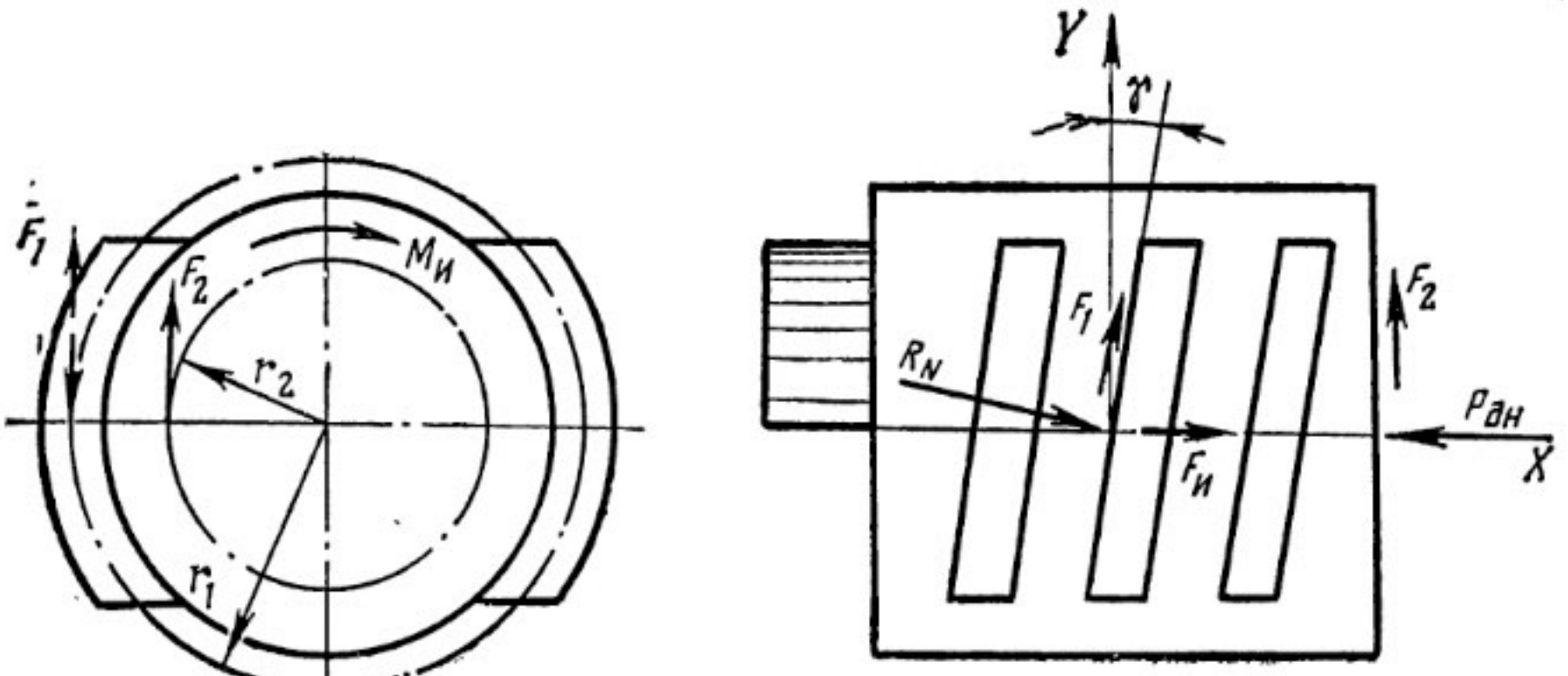


Рис. 11.5. Поршень

не сплошные, а секторные витки нарезов. У поршня делают два нарезных и два гладких сектора, а иногда и больше, если хотят облегчить процесс запирания и отпирания затвора за счет уменьшения угла поворота поршня. Поршневые затворы делают двухтактными (152-мм гаубица Д-1, 203-мм гаубица Б-4М и др.) или трехтактными (203-мм гаубица Б-4М, 305-мм гаубица).

У двухтактных затворов при закрывании поршень совершает поворот совместно с рамой вокруг оси рукоятки, а затем поворот вокруг собственной оси. При открывании затвора процесс повторяется в обратном порядке.

При повороте вокруг оси рукоятки поршень вводится в гнездо казенника, при этом его нарезные секторы становятся напротив гладких секторов гнезда. При повороте вокруг собственной оси нарезы поршня войдут в зацепление с нарезами гнезда казенника. При этом поршень надежно запирает канал ствола и, кроме того, перемещаясь при повороте вперед, досылает гильзу в камору. При открывании затвора поршень поворачивают вокруг оси на столько, чтобы его нарезные секторы стали напротив гладких секторов казенника, после чего поршень выводится из гнезда путем поворота его вокруг оси рукоятки.

У трехтактных затворов имеются следующие перемещения поршня:

— поворот поршня с рамой вокруг оси рукоятки;
— перемещения поршня вдоль собственной оси;
— поворот вокруг собственной оси.

Самоторможение поршня (исключение вращения под действием силы $P_{дп}$ во время выстрела) обеспечивается выбором соответствующего угла наклона γ витков поршня. Величина угла наклона нареза определяется аналогично величине угла наклона клина и принимается равной 1°. Для обеспечения надежного запирания в поршневом запирающем механизме, как и в клиновом, предусматривается замыкающее устройство, роль которого обычно выполняет зуб рукоятки, сцепленной с рамой или казенником и тем самым предотвращающей поворот поршня при выстреле.

Резьба поршня рассчитывается на изгиб, срез и смятие. При этом полагают, что первый виток воспринимает максимальную нагрузку, равную 0,34 $P_{дн}$.

В этом случае изгибающий момент на витке

$$M_{и} = \frac{0{,}34\, P_{дн}\, t}{2}, \qquad (11.25)$$

где t — высота витка.

Момент сопротивления сечения витка

$$W = \frac{\beta\pi\, d_2 H^2}{6}, \qquad (11.26)$$

где β — коэффициент, показывающий, какая часть окружности поршня занята нарезными секторами; для поршней с двумя нарезными секторами $\beta = 0{,}48$, с четырьмя $\beta = 0{,}65$;
d_2 — диаметр поршня до основания нарезов;
H — ширина витка у основания.

Напряжение изгиба

$$\sigma_{и} = \frac{M_{и}}{W} = \frac{0{,}34\, P_{дн}\, t\, 6}{2\, \beta\pi\, d_2\, H^2} = 1{,}02\, \frac{P_{дн} t}{\beta\pi\, d_2 H^2} < \left[\frac{\sigma_e}{2}\right]. \qquad (11.27)$$

Напряжение среза

$$\sigma_{ср} = \frac{0{,}34\, P_{дн}}{\beta\pi\, d_2 H} < [\sigma_{ср}]. \qquad (11.28)$$

Напряжение смятия

$$\sigma_{см} = \frac{0{,}34\, P_{дн}}{\beta\pi\, d_2\, t} < [\sigma_{см}]. \qquad (11.29)$$

Кроме расчета на прочность резьбы поршень рассчитывается на прочность дна и проверяется на жесткость узла запирания, который определяется величиной зазора Δ между зеркалом поршня и дном гильзы при выстреле.

В запирающем механизме безгильзовой обтюрации роль обтюратора выполняет не металлическая гильза, а пластический обтюратор или обтюратор другого типа. Металлическая гильза обеспечивает надежную обтюрацию, удобное заряжание, сохранность боевого заряда и однообразность его воспламенения, но имеет большую пассивную массу, составляющую 20—30% массы всего выстрела, и сравнительно высокую стоимость.

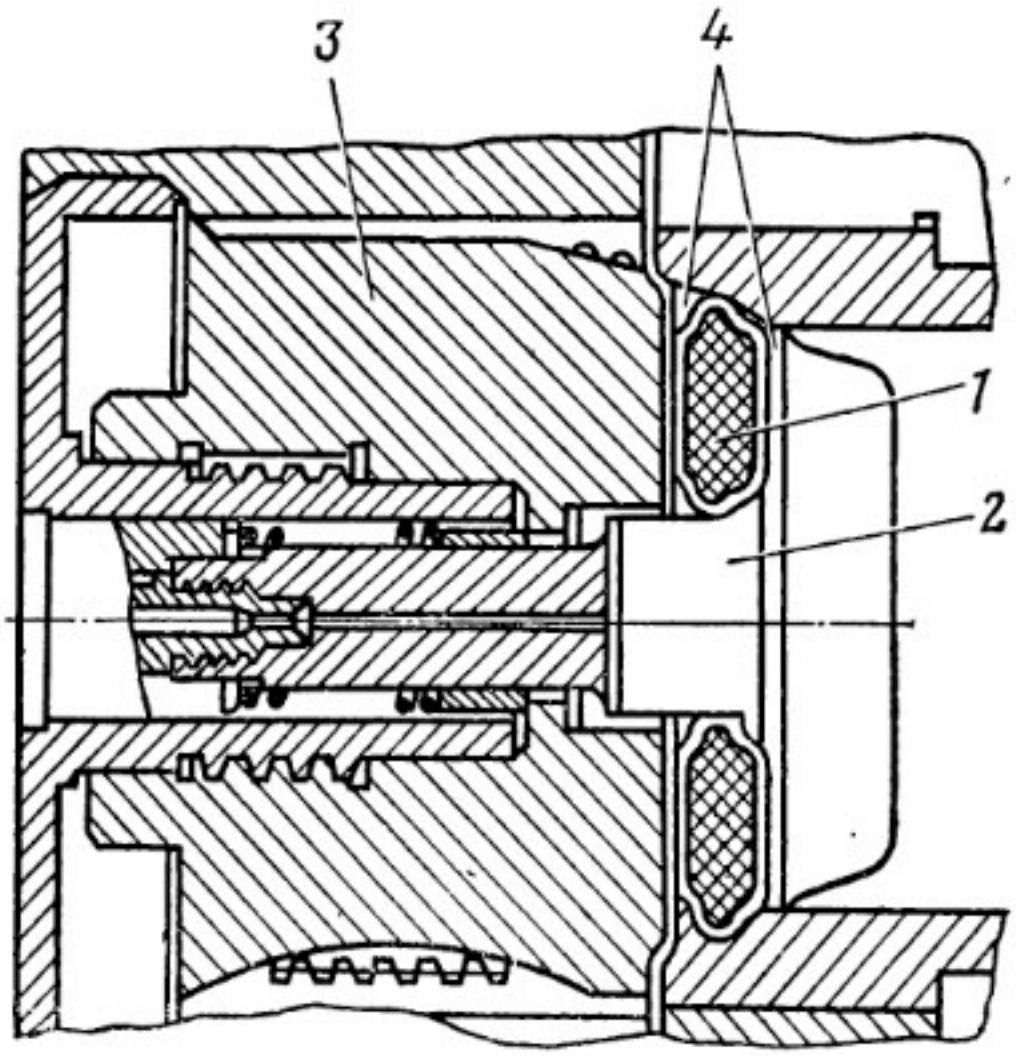


Рис. 11.6. Схема поршневого запирающего механизма с пластическим обтюратором: *1* — обтюраторная подушка; *2* — грибовидный стержень; *3* — поршень; *4* — разрезные кольца

Основное преимущество безгильзовой обтюрации — отсутствие металлической гильзы. Однако этот способ обтюрации ведет к усложнению конструкции запирающего механизма.

В настоящее время в запирающих механизмах безгильзовой обтюрации наибольшее распространение получили пластические обтюраторы (рис. 11.6).

Основными деталями пластического обтюратора являются обтюраторная подушка *1*, грибовидный стержень *2*, поршень *3* и разрезные кольца *4*. Обтюраторную подушку изготовляют из материала, который обладает свойством передавать давление во все стороны, как жидкая среда; она служит для обтюрации пороховых газов в казенной части ствола.

Грибовидный поршень предназначается для создания при выстреле в обтюраторной подушке давления выше давления порохо-

вых газов в канале ствола, чем достигается плотное прижатие подушки к обтюраторному скату ствола, т. е. надежная обтюрация. Разрезные кольца предохраняют обтюраторную подушку от вдавливания ее в зазоры между грибовидным стержнем, стенками каморы и поршнем.

При выстреле давление пороховых газов передается на обтюраторную подушку через грибовидный стержень. Под действием давления обтюраторная подушка, уменьшаясь по толщине, плотно прижимается к обтюраторному скату. Газы не могут отжать подушку от поверхности ската, так как давление внутри подушки выше, чем в канале ствола.

Давление в обтюраторной подушке определяют из условия равновесия грибовидного стержня, которое будет следующим:

$$p_{дн} S_{дн} = p_{об} S_{об} + p_1 S_с, \qquad (11.30)$$

где $p_{дн}$ — давление пороховых газов на грибовидный стержень;
$S_{дн}$ — наибольшая площадь поперечного сечения грибовидного стержня;
$p_{об}$ — давление обтюраторной подушки на грибовидный стержень;
$S_{об}$ — площадь поперечного сечения обтюраторной подушки, действующей на грибовидный стержень;
p_1 — давление окружающей среды;
$S_с$ — площадь поперечного сечения стержня.

Так как $p_{об}S_{об} \gg p_1 S_с$, то для упрощения выкладок членом $p_1 S_с$ в дальнейшем пренебрегаем. Из условия (11.30) получаем

$$p_{об} = p_{дн} \frac{S_{дн}}{S_{об}} = p_{дн} \frac{\pi D_{дн}^2}{\pi \left(D_{дн}^2 - d_с^2\right)} = p_{дн} \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{d_с}{D_{дн}}\right)^2\right]}. \qquad (11.31)$$

С учетом коэффициента Пуассона материала обтюратора уравнение (11.31) будет таким:

$$p_{об} = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \frac{p_{дн}}{1 - \left(\frac{d_с}{D_{дн}}\right)^2},$$

где μ — коэффициент Пауссона ($\mu = 0{,}36 \div 0{,}46$).

Для надежной обтюрации необходимо, чтобы $p_{об}$ было больше $p_{дн}$ примерно на 10—15%, т. е. чтобы

$$p_{об} = (1{,}1 \div 1{,}15)\, p_{дн}.$$

Это обеспечивается подбором отношения диаметров $d_с$ и $D_{дн}$. Обычно

$$\frac{d_с}{D_{дн}} = \frac{1}{3}.$$

Высоту головки грибовидного стержня проверяют на срез по формуле

$$\tau = \frac{P_m \pi d_c^2}{4\pi d_c h} = \frac{P_m \cdot d_c}{4h}, \qquad (11.32)$$

где h — высота головки.

Величина τ должна быть не более $\frac{\sigma_т}{4 \div 6}$.

§ 11.3. УДАРНЫЕ И СПУСКОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Ударный механизм предназначен для производства выстрела и служит для разбивания ударного состава средств воспламенения (капсюльных втулок, ударных трубок, капсюлей).

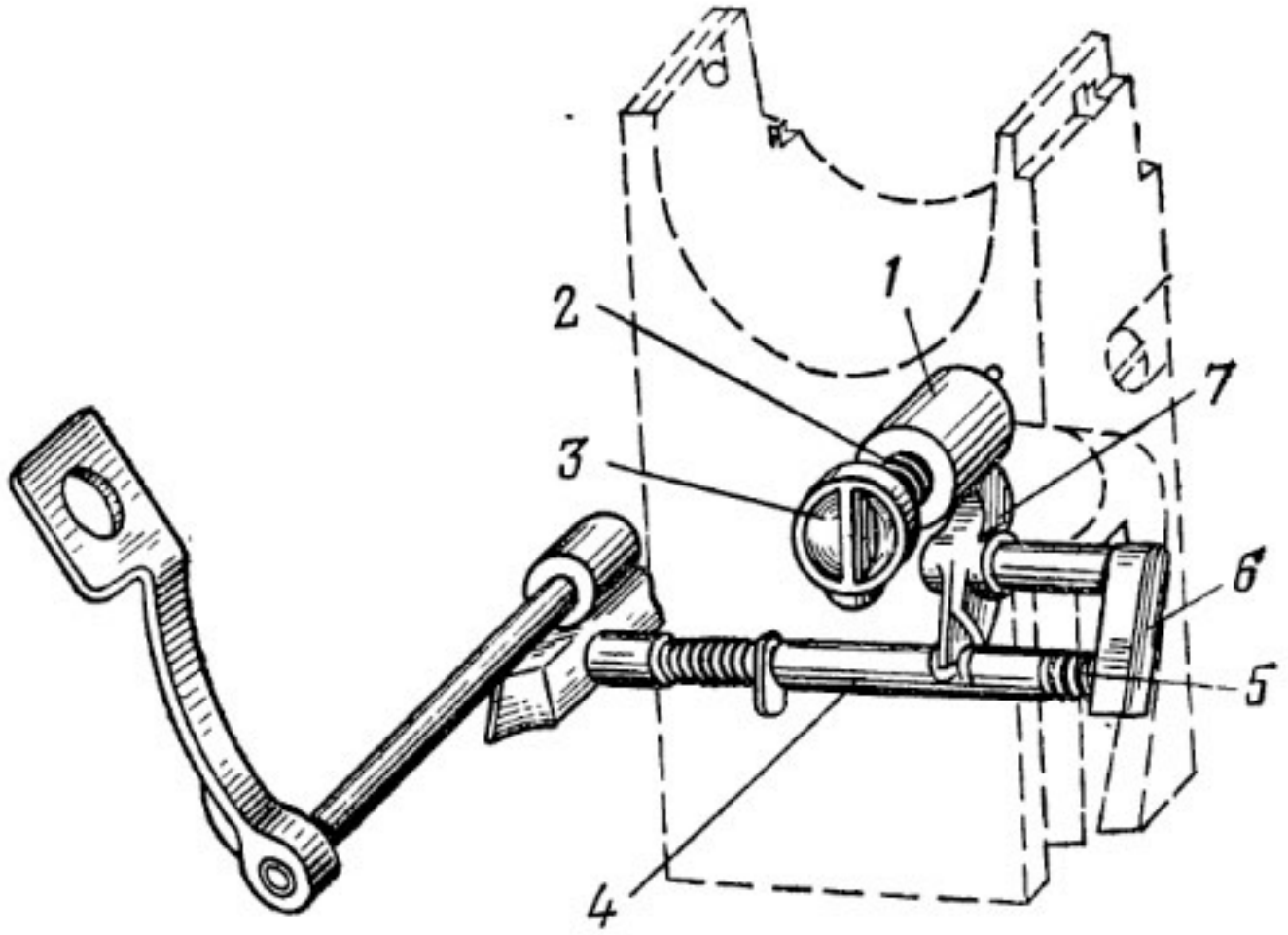


Рис. 11.7. Схема ударного механизма, взводящегося при открывании затвора:
1 — ударник с бойком; *2* — пружина; *3* — упорная крышка; *4* — стопор взвода; *5* — пружина стопора взвода; *6* — ось взвода; *7* — взвод

Спусковой механизм предназначен для приведения в действие ударного механизма.

Совокупность ударного и спускового механизмов называется стреляющим приспособлением.

Одна из возможных конструкций ударного механизма, взводимого при открывании клинового затвора, показана на рис. 11.7. Этот механизм состоит из ударника *1* с бойком, боевой пружины *2*, крышки *3*, взвода *7* с осью *6* и стопора *4* с пружиной *5*.

При открывании затвора кривошип запирающего механизма поворачивает ось со взводом, который верхним плечом перемещает ударник назад, сжимая боевую пружину. Поворот взвода происхо-

дит до тех пор, пока стопор взвода под действием пружины не заскочит в вырез плеча взвода, после чего ударный механизм находится во взведенном состоянии. Для производства спуска необходимо с помощью спускового механизма нажать на стопор взвода и освободить нижнее плечо взвода. В этом случае ударник под действием пружины будет перемещаться вперед и своим бойком нанесет удар по капсюльной втулке или другому средству воспламенения.

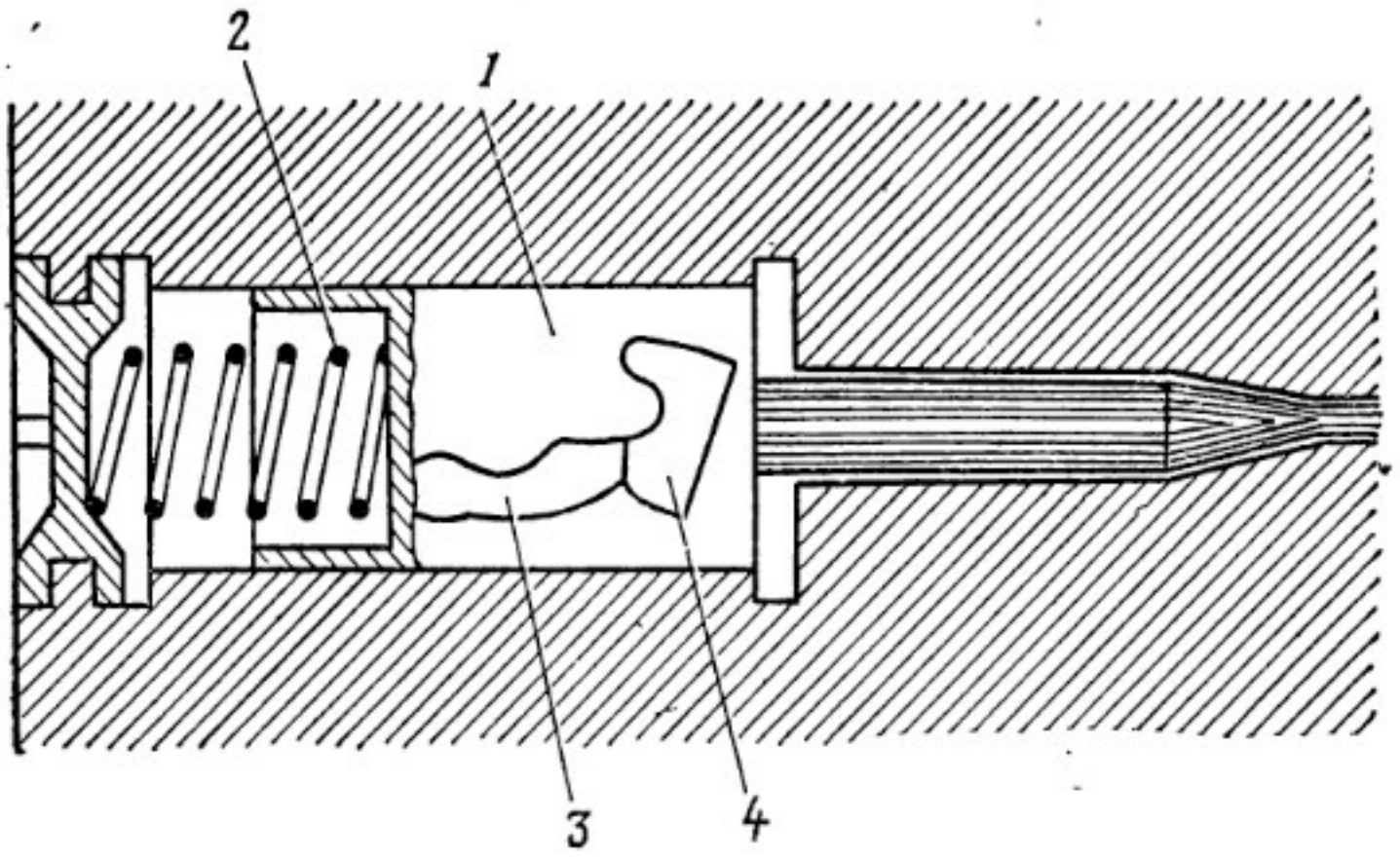


Рис. 11.8. Схема ударного механизма, взводимого с помощью спускового механизма:

1 — ударник; *2* — пружина; *3* — курок ударника; *4* — кулачок

Схема ударного механизма, взводимого с помощью спускового механизма, изображена на рис. 11.8.

Взведение ударника *1* происходит при повороте валика с кулачком *4*. Кулачок давит на курок *3* ударника, перемещает ударник, сжимая пружину *2*. При дальнейшем повороте валика кулачок соскакивает с курка и происходит спуск, т. е. ударник под действием пружины перемещается вперед и бойком наносит удар по средству воспламенения. После спуска валик под действием своей пружины поворачивается и его кулачок, отжимая курок, вновь становится в исходное положение, отжимая коротким плечом ударник назад.

Независимо от конструкций ударных механизмов к ним предъявляются следующие основные требования:

— надежное действие ударника по средствам воспламенения, но без пробивания их;

— достаточная живучесть бойка;

— удобство эксплуатации (легкость разборки, сборки, ремонта).

Надежность действия ударника по средствам воспламенения зависит от запаса кинетической энергии, которой он обладает в момент соударения.

Величина кинетической энергии ударника $A_у$ (рис. 11.9) определяется по формуле

$$A_у = \eta \frac{F_0 + F_\lambda}{2} \lambda = \frac{m_у + \frac{1}{3} m_п}{2} v_у^2, \qquad (11.33)$$

где η — к.п.д. механизма ($\eta \simeq 0{,}9$);
F_0 — сила предварительного поджатия пружины; принимается из условия удобства сборки затвора равной 300—350 Н;
F_λ — сила пружины при взведенном положении ударника:

$$F_\lambda = mF_0,$$

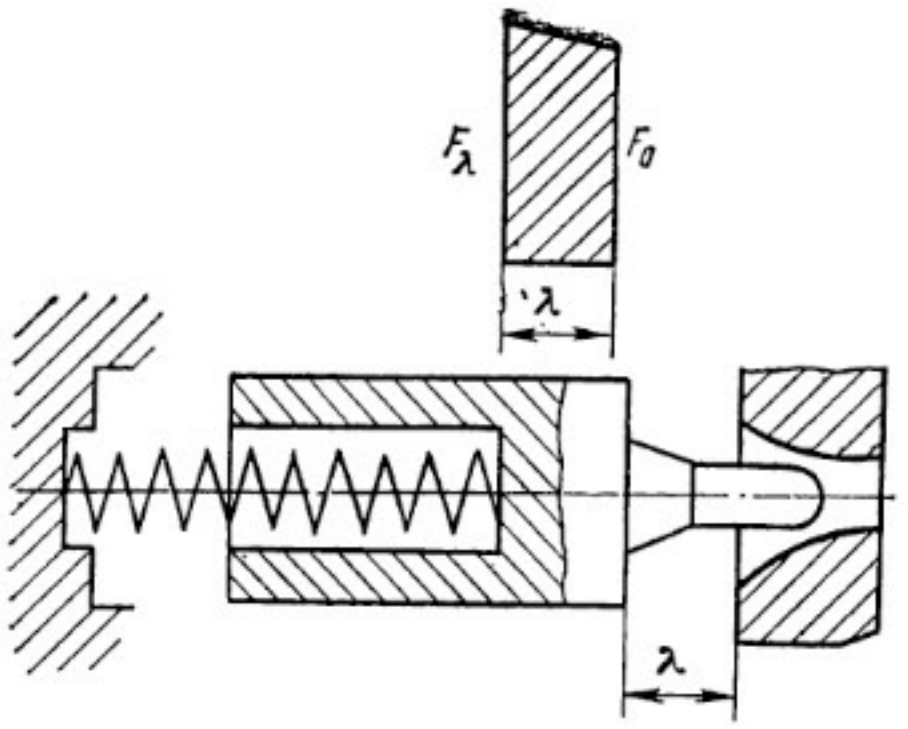


Рис. 11.9. Схема ударного механизма

где $m = 1{,}7 \div 2$ — степень сжатия пружины;
λ — рабочий ход ударника ($\lambda \simeq 10 \div 15$ мм);
$m_у$ — масса ударника;
$m_п$ — масса пружины;
$v_у$ — скорость ударника.

На основе опыта проектирования принимают $A_у = 3{,}5 \div 4{,}0$ *Н*м для латунных капсюльных втулок и $A_у = 7 \div 12$ *Н*м для стальных. Нижний предел берется из условия надежности срабатывания капсюльных втулок, а верхний — из условия исключения ее пробивания.

Скорость ударника $v_у$ принимается равной $5 \div 7$ м/с для латунных капсюльных втулок и $10 \div 20$ м/с для стальных. Жесткость пружины определяется из выражения

$$c = \frac{F_\lambda - F_0}{\lambda}.$$

Диаметр бойка $d_б$ берется таким, чтобы площадь поперечного сечения отверстия для его выхода в зеркале клина или поршня не вызывала выбивание пробки в капсюльной втулке под действием давления пороховых газов. Обычно $d_б = 3 \div 3{,}5$ мм.

Спусковые механизмы бывают механического и электромеханического типа. Основное достоинство электромеханического спускового механизма по сравнению с механическим — удобство эксплуатации. Усилие при ручном спуске механизма 20—40 Н, при ножном 40—80 Н.

§ 11.4. ВЫБРАСЫВАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

Выбрасывающий механизм предназначается для извлечения и выбрасывания гильзы из каморы после выстрела. Он также служит для извлечения выстрела или гильзы с боевым зарядом после

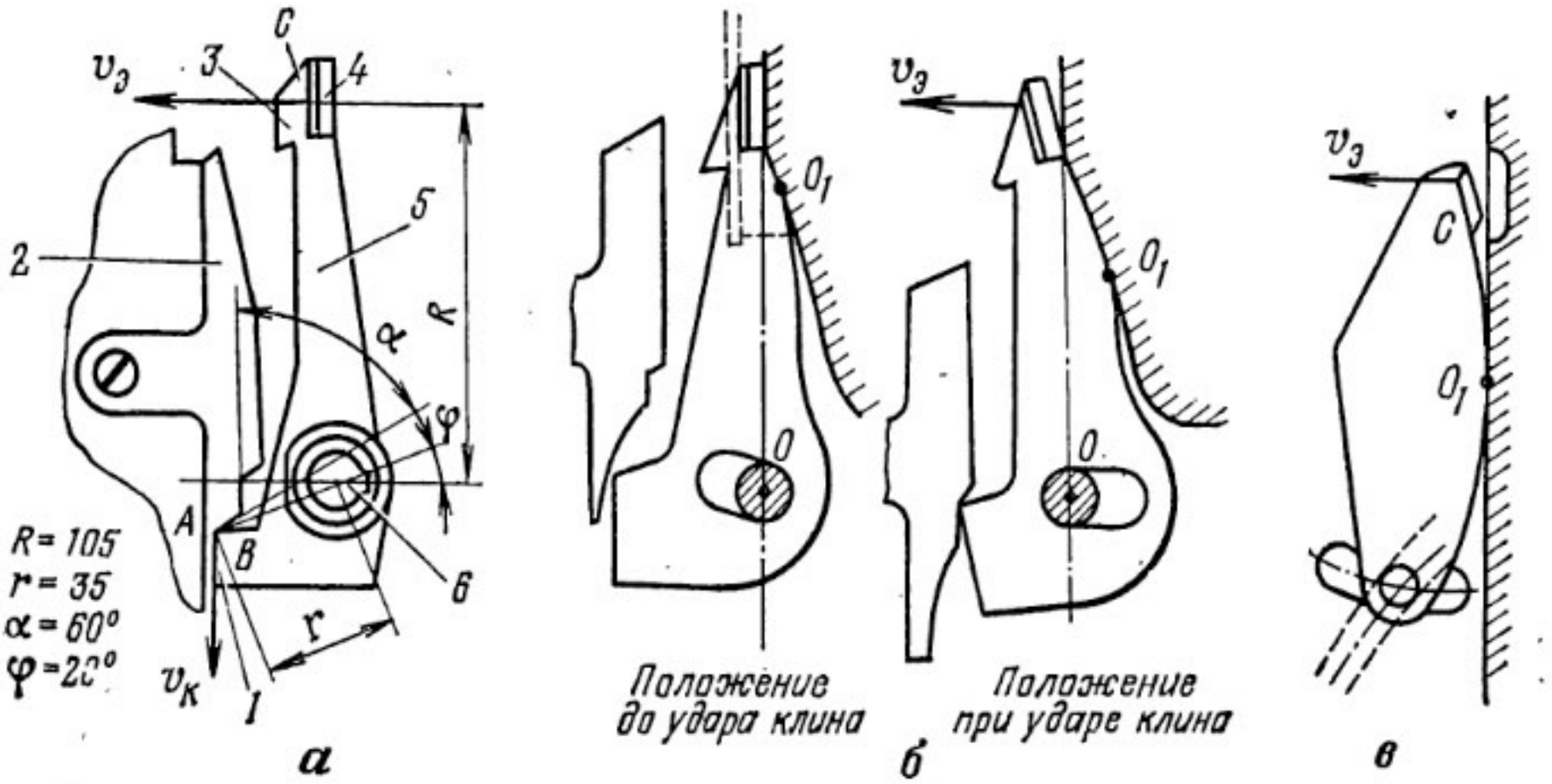


Рис. 11.10. Выбрасывающие механизмы:

а — выбрасывающий механизм рычажного типа ударного действия; *б* — выбрасывающий механизм рычажного типа плавного действия; *в* — выбрасывающий механизм кулачкового типа; *1* — нижний выступ; *2* — кулачок; *3* — верхний выступ; *4* — захваты; *5* — выбрасыватель; *6* — ось выбрасывателей

осечки. По конструкции выбрасывающие механизмы делятся на рычажные или кулачковые, а по характеру приложения нагрузки на извлекаемую гильзу — на ударного или плавного действия.

Рычажные выбрасывающие механизмы бывают как ударного, так и плавного действия, а кулачковые — только плавного.

Рычажный выбрасывающий механизм ударного действия клиновых затворов (рис. 11.10, *а*) состоит из двух выбрасывателей *5*, надетых на ось *6* выбрасывателей. Выбрасыватели вверху имеют захваты *4*, которыми соединяются с фланцем гильзы, а внизу — нижние выступы *1*. При открывании клина его кулачки *2* ударяют по нижним выступам выбрасывателей и поворачивают их относительно своих осей. При этом зацепы выбрасывателей, действуя на фланец, извлекают гильзу из каморы и сообщают ей определенную

скорость. На выбрасывателях клиновых затворов с полуавтоматикой делаются верхние выступы *3*, которыми они удерживают клин в нижнем положении после открывания затвора.

В рычажных механизмах плавного действия (рис. 11.10, *б*) выбрасыватели имеют овальные отверстия, которые позволяют им перемещаться относительно оси. Работа таких механизмов происходит в два периода (этапа). В первом периоде (этапе) происходит страгивание гильзы в каморе за счет незначительного поворота выбрасывателей относительно точки O в результате их перемещения своими овальными отверстиями по оси из-за действия на них наклонных поверхностей кулачков клина. В это время из-за большого плеча действия силы давление выбрасывателей на гильзу оказывается значительным.

Во втором периоде (этапе) происходит удар кулачков клина по нижним выступам выбрасывателей, которые, поворачиваясь с большим угловым ускорением, своими зацепами энергично выбрасывают из каморы ствола предварительно смещенную гильзу.

Выбрасывающие механизмы кулачкового типа (рис. 11.10, *в*) состоят из двух независимых друг от друга кулачков, снабженных подвижным устройством. В нижней части кулачки имеют соосно расположенные внутренние и наружные цапфы. Наружные цапфы помещаются в отверстиях казенника, а внутренние — в пазах клина затвора.

При открывании затвора кулачки, скользя внутренними цапфами по фигурным пазам клина, поворачиваются относительно точки O_1, которая по мере открывания затвора перемещается вниз. Поскольку плечо CO_1 увеличивается при опускании клина, постольку и скорость движения точки C — точки соприкосновения кулачка с гильзой — будет также увеличиваться. В выбрасывающем механизме кулачкового типа резкой границы между периодами страгивания и выбрасывания гильзы провести нельзя.

Основным достоинством выбрасывающих механизмов плавного действия является наиболее рациональное распределение усилий, затрачиваемых на работу механизма; недостатком — сравнительно низкий коэффициент полезного действия из-за больших потерь энергии на трение между деталями запирающего механизма затвора.

Выбрасывающие механизмы должны обеспечивать надежное извлечение гильзы из каморы и отбрасывание ее на расстояние 1,5—2 м от казенника, т. е. в такое место, где она не мешает работе расчета. Так как выбрасывающие механизмы приводятся в действие деталями затвора при его открывании, то задачей расчета выбрасывающего механизма является определение зависимости между скоростью выбрасывания гильзы и скоростью открывания клина.

Если рассматривать гильзу как свободно падающее тело и пренебречь сопротивлением воздуха, то ее уравнения движения при

выбрасывании из орудия (рис. 11.11) при угле возвышения ствола $\varphi=0$ запишутся в следующем виде:

$$L = v_г t; \tag{11.34}$$

$$H_0 = \frac{g t^2}{2}, \tag{11.35}$$

где L — расстояние по горизонту от центра тяжести гильзы (точка C) в каморе до места падения гильзы (точка C');

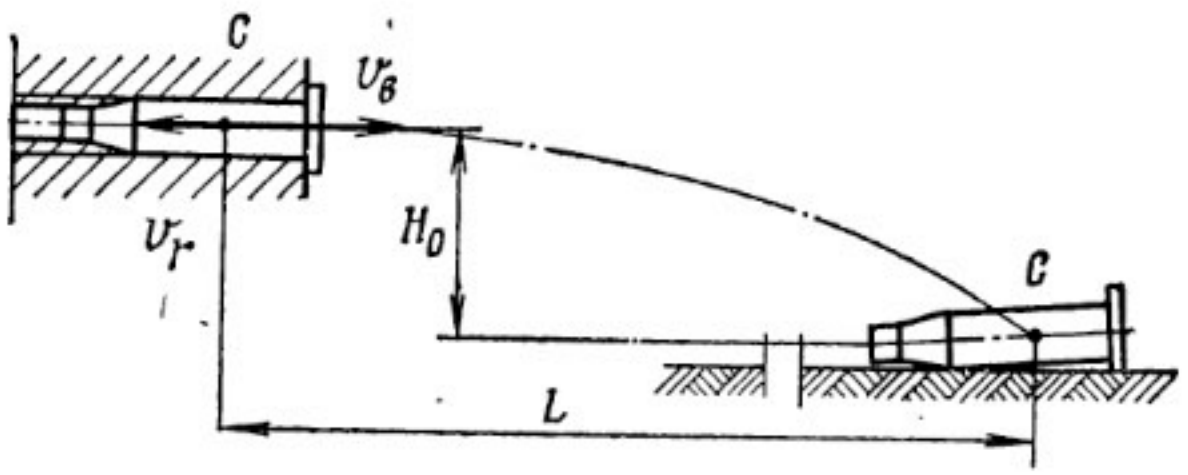


Рис. 11.11. Схема выбрасывания гильзы из орудия

t — время падения гильзы;
H_0 — высота падения гильзы (расстояние по вертикали между точками C и C');
$v_г$ — абсолютная скорость гильзы:

$$v_г = v_в - U, \tag{11.36}$$

где $v_в$ — скорость выбрасывания или скорость гильзы относительно ствола;
U — скорость наката ствола в момент выбрасывания гильзы.

Решая уравнение (11.34) относительно $v_г$ и заменяя t, находим

$$v_г = L\sqrt{\frac{g}{2H_0}}. \tag{11.37}$$

Подставляя значение $v_г$ из уравнения (11.37) в зависимость (11.36) и решая его относительно $v_в$, получим

$$v_в = L\sqrt{\frac{g}{2H_0}} + U. \tag{11.38}$$

Анализ зависимости (11.38) показывает, что с возрастанием скорости наката U скорость выбрасывания $v_в$ следует увеличивать, чтобы отбросить гильзу на заданное расстояние от ствола.

Для обеспечения требуемой скорости выбрасывания гильзы $v_в$ необходимо, чтобы в момент удара по выбрасывателям скорость движения клина

$$v_к = \frac{v_в}{i}, \tag{11.39}$$

где i — передаточное число от клина к гильзе при выбрасывании; передаточное число i вычисляется по формуле

$$i = \frac{R}{r} \cdot \frac{k(1+b)}{1 + k^2 \frac{m_г}{m_к} \cdot \frac{R^2}{r^2}}, \qquad (11.40)$$

где $k = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \varphi)}$;

R, r, α и φ — обозначены согласно рис. 11.10, *а*;

b — коэффициент восстановления ($b \simeq 0{,}6 \div 0{,}8$);

$m_г$ — масса гильзы;

$m_к$ — масса клина.

Коэффициент восстановления b характеризует упругие свойства клина, выбрасывателей и гильзы в момент удара. Для абсолютно упругих тел $b=1$, но поскольку при ударе клина по выбрасывателям не вся энергия расходуется на выбрасывание гильзы, а часть ее идет на деформацию флянца гильзы, то принимают $b=0{,}8 \div 0{,}9$.

Из анализа формул (11.39) и (11.40) следует, что при $v_к = \text{const}$ скорость выбрасывания гильзы $v_в$ увеличивается с возрастанием отношения массы клина к массе гильзы. Что касается отношения большого плеча к малому $\frac{R}{r}$, то при прочих равных условиях существует такое оптимальное соотношение этих величин, при котором скорость выбрасывания гильзы будет наибольшей. Это соотношение определяется зависимостью

$$\left(\frac{R}{r}\right)^{опт}_{v_к=0} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{m_к}{b m_г}}, \qquad (11.41)$$

где $v_к$ — скорость клина после удара о выступ выбрасывателя.

Таким образом, определив скорость выбрасывания гильзы по формуле (11.38), подбирают такие конструктивные характеристики выбрасывающего механизма и клина, при которых эта скорость будет обеспечиваться.

§ 11.5. ПОЛУАВТОМАТИКА

Полуавтоматика — это устройство, предназначенное для приведения в действие части механизмов затвора после выстрела и после заряжания орудий. Полуавтоматика состоит из открывающего и закрывающего механизмов.

Открывающий механизм предназначен для приведения в действие механизмов затвора (запирающего, выбрасывающего, ударного и др.) после выстрела, т. е. для открывания затвора.

Закрывающий механизм предназначен для приведения в действие механизмов затвора (запирающего, предохранительного) после заряжания орудия, т. е. для закрывания затвора.

Полуавтоматика работает либо за счет энергии откатных частей, либо за счет энергии, подводимой извне.

Полуавтоматики, применяемые в артиллерийских орудиях, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

— надежность при любых условиях эксплуатации должна быть высокой;

— действие полуавтоматики не должно существенно сказываться на работе противооткатных устройств;

— живучесть, компактность, безопасность и удобство в эксплуатации должны быть высокими.

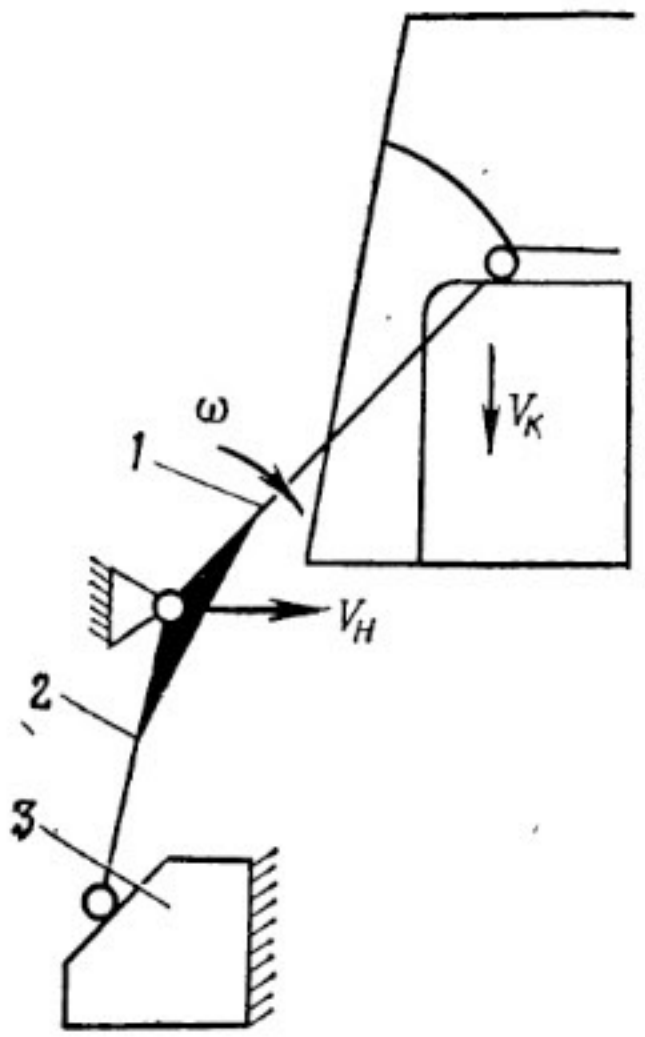


Рис. 11.12. Схема копирного открывающего механизма ударного действия:

1 — кривошип; *2* — кулачок; *3* — копир

В зависимости от конструкции открывающего механизма полуавтоматика классифицируется по следующим признакам:

1. По характеру действия открывающего механизма на затвор:

— ударного действия;

— плавного действия.

2. По времени срабатывания открывающего механизма:

— работающие в период отката (зенитные орудия);

— работающие в период наката (орудия наземной артиллерии);

— работающие в период отката и наката (зенитные орудия).

3. По конструкции механизма:

— механические (копирные);

— пружинные;

— инерционные;

— инерционно-механические.

Схема конструкции копирного открывающего механизма ударного действия, работающего за счет энергии откатных частей при накате, изображена на рис. 11.12. Действие его происходит следующим образом. При накате откатных частей со скоростью $v_н$ шип кулачка *2*, встречая копир *3*, который закреплен на люльке, поворачивается вместе с кривошипом *1* с угловой скоростью ω. Кривошип, действуя роликом на фигурный паз клина, перемещает его вниз со скоростью $v_к$.

Открывающий механизм такой конструкции прост по устройству, безотказен в работе и имеет высокую надежность, но его работа зависит от скорости наката, а передача усилия от копира на клин носит ударный характер. Поэтому подобные схемы применяют для вертикального перемещения клина, масса которого не превышает 40—60 кг (Д-30).

Пружинные открывающие механизмы применяются в целях уменьшения зависимости их работы от скорости наката. Схема пружинного открывающего механизма изображена на рис. 11.13. Работа такого механизма происходит в следующем порядке. При накате откатывающихся частей кулиса *6*, встречая на своем пути

упор *7*, поворачивается вокруг оси O_1 с угловой скоростью ω_1, перемещая нижним плечом скалку *4*, которая сжимает открывающую пружину *5*.

В конце наката верхнее плечо кулисы выходит из-под упора и освобождает скалку, которая под действием открывающей пружины перемещается влево со скоростью v_c. Скалка воздействует на рычаг *3*, поворачивает его вместе с кривошипом *1*, последний своим роликом перемещает клин вниз.

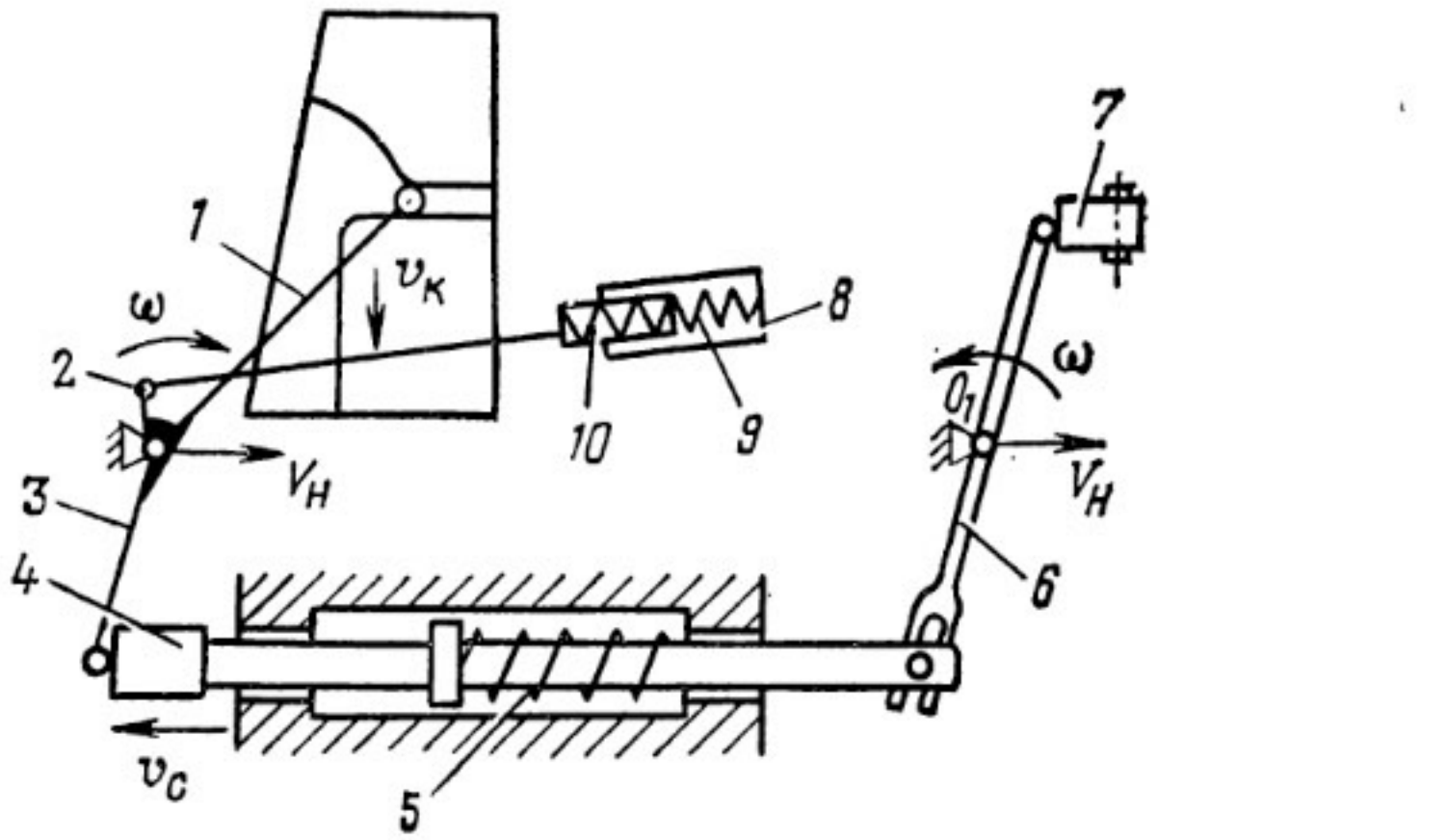


Рис. 11.13. Схема открывающего и закрывающего механизмов пружинного типа:

1 — кривошип; *2* — кулачок; *3* — рычаг; *4* — скалка; *5* — открывающая пружина; *6* — кулиса; *7* — упор; *8* — упорный стакан; *9* — закрывающая пружина; *10* — нажимной стакан

Пружинный открывающий механизм уменьшает ударное действие при передаче усилия от скалки на клин и уменьшает зависимость работы механизма от скорости наката. Недостатком его является сложность устройства.

Работа открывающих механизмов должна происходить на таком пути наката ξ_1, на котором легче обеспечить необходимую скорость открывания клина для надежного выбрасывания гильзы во время наката, когда уменьшается опасность появления обратного пламени. Обычно $\xi_1 = (0{,}5 \div 0{,}35)\ \xi_н$. Скорость наката в конце пути ξ_1 должна быть в пределах $U = (0{,}8 \div 1{,}2)$ м/с.

В артиллерийских орудиях, полуавтоматика которых работает за счет энергии откатных частей, применяют в основном закрывающие механизмы пружинного типа (рис. 11.13). Данный механизм состоит из упорного стакана *8*, закрепленного на казеннике, нажимного стакана *10*, закрывающей пружины *9* и рычага *3*. При открывании затвора рычаг *3* перемещает нажимной стакан *10*, который сжимает закрывающую пружину, аккумулируя в ней энергию, необходимую для подъема клина при закрывании затвора.

При заряжании выбрасыватели освобождают клин и нажимной стакан, перемещаясь под действием пружины влево, поворачивает рычаг, а вместе с ним и кривошип, который поднимает клин вверх. Происходит закрывание затвора.

Закрывающие механизмы такого типа просты по устройству, надежно работают и легко поддаются регулировке.

Сила закрывающей пружины определяется из закона сохранения энергии при закрывании затвора, уравнение которой с достаточной для практики точностью имеет следующий вид:

$$\frac{m_к v_{к2}^2}{2} + m_к g L_к = E_з = \frac{F_{1з} + F_{2з}}{2} \lambda_з \eta_з, \qquad (11.42)$$

где $m_к$ — масса клина;
$v_{к2}$ — скорость клина в конце закрывания затвора;
$L_к$ — длина пути клина при закрывании затвора;
$E_з$ — энергия пружины, израсходованная на закрывание затвора;
$F_{1з}, F_{2з}$ — сила пружины соответственно в начале и в конце закрывания затвора;
$\lambda_з$ — стрела сжатия пружины;
$\eta_з = 0{,}95 \div 0{,}98$ — к.п.д. закрывающего механизма.

Решая уравнение (11.42) относительно $F_{2з}$, получают

$$F_{2з} = \frac{m_к}{\lambda_з \eta_з} \left(v_{к2}^2 + 2 g L_k \right) - F_{1з}. \qquad (11.43)$$

Обычно при расчете принимают силу пружины $F_{2з} = (2{,}0 \div 2{,}5) \times m_к g$, а скорость движения клина $v_{к2} = (1{,}5 \div 2)$ м/с, для того чтобы обеспечить досылку гильзы в камору и преодолеть трение между зеркалом клина и дном гильзы. Степень сжатия пружины

$$m = \frac{F_{1з}}{F_{2з}}.$$

При $m = 2$ получается пружина наименьшей массы.

Анализ уравнения (11.43) показывает, что получить желаемую степень сжатия можно за счет изменения скорости клина в конце закрывания затвора либо за счет изменения массы клина.

Силу открывающей пружины определяют из закона сохранения энергии при открывании затвора, уравнение которого с достаточной степенью точности можно записать так:

$$\frac{m_к v_{к1}^2}{2} = \frac{F_{10} + F_{20}}{2} \lambda_0 \eta_0 - \frac{F_{1з} + F_{2з}}{2} \lambda_з \eta_з + m_к g L'_к, \qquad (11.44)$$

где $v_{к1}$ — скорость клина в конце открывания клина;
F_{10}, F_{20} — сила открывающей пружины соответственно в начале и в конце открывания;
λ_0 — стрела сжатия открывающей пружины;
$\eta_0 = 0{,}95 \div 0{,}98$ — к.п.д. открывающего механизма;
$L'_к$ — путь клина при открывании.

Подставляя в уравнение (11.44) значение члена $\frac{F_{13}+F_{23}}{2}\lambda_3\eta_3$ из зависимости (11.42), полагая, что $L_к = L'_к$, и произведя соответствующие преобразования, получим

$$\frac{F_{10}+F_{20}}{2} = m_к \frac{v_{к1}^2 + v_{к2}^2}{\lambda_0\eta_0}. \qquad (11.45)$$

Формула (11.45) показывает, что среднее значение силы открывающей пружины численно равно сумме кинетической энергии клина в конце открывания и закрывания затвора, разделенной на стрелу сжатия λ_0 и к.п.д. открывающего механизма η_0.

Величина кинетической энергии клина при открывании затвора определяется условиями работы выбрасывающего механизма, а величина кинетической энергии клина при закрывании затвора — условиями досылки гильзы в камору и преодоления силы трения между зеркалом клина и дном гильзы.

Для придания клину необходимой кинетической энергии при открывании и закрывании затвора в условиях постоянной осадки пружин механизмы должны иметь устройство для регулировки стрелы предварительного поджатия пружин.

§ 11.6. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Предохранительные механизмы затворов бывают двух типов. К первому типу относятся предохранительные механизмы, которые исключают производство выстрела при не вполне запертом стволе, а ко второму — предохранительные механизмы, которые не дают возможности открыть затвор обычным приемом в случае затяжного выстрела или осечки. Предохранительные механизмы первого типа имеются в каждом затворе, а в неавтоматических затворах дополнительно устанавливаются механизмы второго типа. Предохранительные механизмы первого типа называются предохранителями преждевременного спуска, а второго типа — инерционными предохранителями. Предохранители преждевременного спуска воспрещают взведение или спуск ударного механизма при не вполне закрытом затворе и в зависимости от типа затвора выполняются или в виде отдельной детали (защелки, стопора), или в виде специальных выступов на деталях затворов.

Инерционный предохранитель (рис. 11.14) состоит из инерционного предохранителя *2*, пружины *6* и стопора *5* с пружиной *4*. После закрывания затвора инерционное тело стопорит его, входя в вырез казенника *3*. В результате до производства выстрела нельзя открыть затвор обычным приемом. Взведение инерционного предохранителя (расцепление его с казенником) осуществляется при откате под действием силы инерции

$$F_и = \frac{m_п}{M_0}(P_{кн} - R)_{max}, \qquad (11.46)$$

где $m_п$ — масса предохранителя;
M_0 — масса откатных частей;
R — сила сопротивления откату.

Сила, препятствующая взведению предохранителя:

$$R_п = F_п + \frac{m_п}{g}(\sin\varphi + f\cos\varphi), \qquad (11.47)$$

где $F_п$ — сила пружины инерционного предохранителя в конце взведения;
f — коэффициент трения;
φ — угол возвышения ствола.

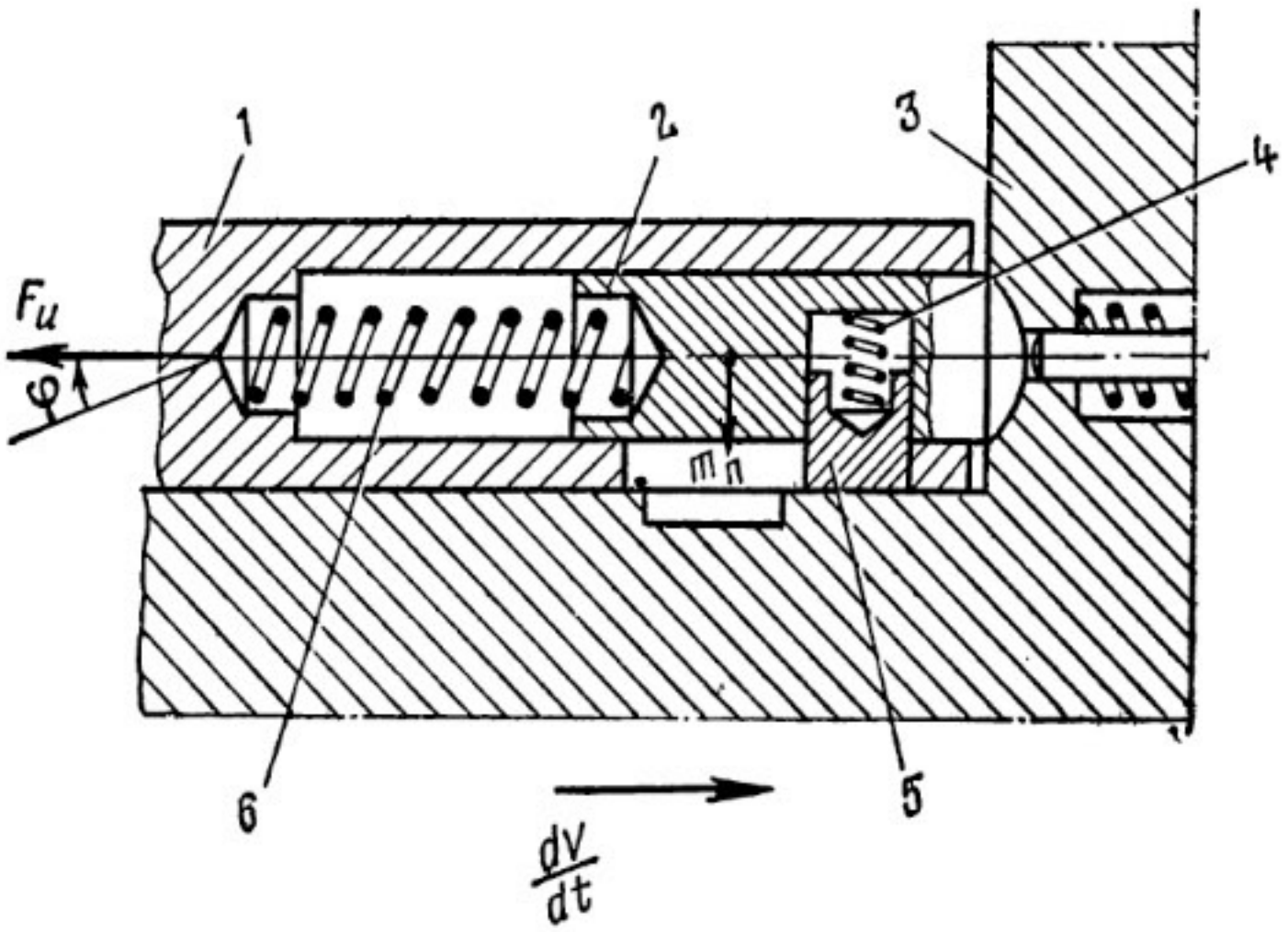


Рис. 11.14. Инерционный предохранитель:
1 — клин; *2* — инерционный предохранитель; *3* — казенник; *4* — пружина стопора; *5* — стопор; *6* — пружина предохранителя

После взведения предохранителя стопор *5* под действием пружины *6* попадает в паз казенника и не дает возможности инерционному телу вернуться в первоначальное положение и снова застопорить затвор. Надежность взведения механизма выполняется при условии

$$F_и \geqslant 4R_п.$$

Кроме того, необходимо помнить, что надежность работы в большой степени зависит от технического состояния механизма, в частности от качества смазки.

Вспомогательные механизмы предназначаются для облегчения работы номеров расчета при заряжании орудия и производстве выстрела из него. К ним относятся удерживающие механизмы, механизмы повторного взведения и облегчения заряжания.

Удерживающий механизм предназначается для удержания снаряда, а в некоторых случаях и гильзы в канале ствола при заря-

жании, когда стрельба ведется при больших углах возвышения ствола. Этот механизм применяется только в орудиях с раздельным гильзовым заряжанием. Основной деталью удерживающего механизма является удержник, который размещается в лотке клина или в казеннике.

При открытом затворе удержник, выступая под поверхностью лотка клина или казенника, препятствует выпаданию снаряда из каморы до момента его досылания в соединительный конус. При открывании затвора удержник с помощью специального устройства в момент выбрасывания гильзы утапливается в свое гнездо и не препятствует ее движению. После выбрасывания гильзы при дальнейшем открывании затвора удержник занимает свое исходное положение.

Механизм повторного взведения предназначен для взведения ударного механизма без открывания затвора при осечках. Он применяется в затворах, взведение ударного механизма которых происходит при их открывании.

§ 11.7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАТВОРОВ

Надежность и долговечность работы механизмов затвора и полуавтоматики определяется правильностью их эксплуатации.

Правильная эксплуатация затвора и полуавтоматики предусматривает осмотр и проверку работы их механизмов перед стрельбой, постоянное наблюдение за их работой во время стрельбы, текущее обслуживание после стрельбы и точное соблюдение правил их хранения.

При осмотре затвора перед стрельбой особое внимание обращают на целость бойка пружин, на состояние сопряженных поверхностей деталей механизмов, в результате износа которых может произойти самопроизвольный спуск ударника, на величину выхода бойка ударника. Перед стрельбой обязательно проверяется функционирование всех механизмов затвора и полуавтоматики. Все неисправности, обнаруженные при осмотре и проверке работы механизмов, устраняются. При осмотре могут быть обнаружены ржавчина, забоины и задирины на поверхностях деталей, а также износ, поломка деталей и осадка пружин. Ржавчину необходимо удалять ветошью, смоченной в керосине, после чего деталь тщательно протирается от следов керосина и смазывается. Забоины и задирины на деталях зачищаются. При этом необходимо следить, чтобы снимался только приподнятый металл и не изменялись размеры деталей. Поломанные детали и пружины, имеющие осадку, заменяют новыми.

При проверке работы ударного механизма обращают внимание на то, чтобы он срабатывал только при вполне закрытом затворе, причем удар бойка должен слышаться резко и отчетливо.

При проверке полуавтоматики необходимо обратить особое внимание на состояние пружин. Состояние пружины закрывающего механизма проверяется при закрывании затвора. Если за-

твор вследствие осадки пружины закрывается «вяло», то следует поджать закрывающую пружину с помощью регулирующей гайки. Работу открывающей пружины проверяют с помощью искусственного отката.

У орудий с поршневыми затворами, имеющими пластический обтюратор, в холодное время года по возможности первые выстрелы производить на уменьшенных зарядах или перед стрельбой прогревать пластический обтюратор в горячей воде, если позволяет обстановка. После каждого выстрела осматривать обтюратор в целях обнаружения прилипания материалов, трещин и других дефектов. Следить за тем, чтобы под воздействием влаги не возникло «разбухание» асбестовой обтюраторной подушки.

При эксплуатации затворов у орудий с патронным и раздельно-гильзовым заряжанием во время стрельбы возможны отказы в действии затвора, зависящие от дефектов (неисправностей) элементов выстрела (гильзы, снаряды). Поэтому при подготовке орудия к стрельбе необходимо тщательно осматривать и готовить боеприпасы к стрельбе.

Текущее обслуживание затвора и полуавтоматики после стрельбы предусматривает проверку состояния и очистку всех деталей от порохового нагара и грязи с последующим их смазыванием.

При хранении пружины механизмов затвора должны находиться в расслабленном состоянии.

ГЛАВА 12

ДЕЙСТВИЕ ВЫСТРЕЛА НА АРТИЛЛЕРИЙСКОЕ ОРУДИЕ

§ 12.1. УСТОЙЧИВОСТЬ И НЕПОДВИЖНОСТЬ ОРУДИЯ ПРИ ОТКАТЕ

До последней четверти XIX в. у артиллерийских орудий ствол жестко связывался с лафетом, вследствие чего при выстреле он не мог откатываться относительно лафета. Такие орудия получили название орудий с жестким лафетом. У орудий с жестким лафетом сила отдачи $P_{кн}$, возникающая в канале ствола при выстреле, передавалась через ствол на лафет.

Вследствие высоких давлений в канале ствола при выстреле сила $P_{кн}$ может достигать сотен тонн (например, у 122-мм гаубицы М-30 $P_{кн\,max} \approx 250 \cdot 10^4$ Н (250 т). Поэтому орудия с жестким лафетом для обеспечения прочности и устойчивости делались тяжелыми, при выстреле подпрыгивали и откатывались иногда на несколько метров назад. Орудия с жестким лафетом не могли обеспечить требуемой скорострельности и ограничивали возможности по повышению давлений в канале ствола (дальности стрельбы).

Как отмечалось ранее, орудия, у которых ствол связан с лафетом упругой связью, например с помощью противооткатных устройств, называются орудиями с упругим лафетом. У орудий с упругим лафетом при выстреле откатные части (ствол и связанные с ним детали противооткатных устройств) вначале откатываются вдоль оси канала ствола назад, а затем накатываются в исходное положение. У таких орудий при откате на лафет действует не сила $P_{кн}$, а сила, равная и противоположная по направлению силе, с которой тормозится ствол, т. е. сила сопротивления откату R. Сила R складывается из тормозящих сил тормоза отката и накатника, сил трения в подвижных соединениях и составляющей силы веса откатных частей вдоль оси канала ствола.

Из закона сохранения импульса сил, действующих на откатные части при откате, следует

$$\int_0^{t_в} P_{кн}\,dt = \int_0^{T_{отк}} R\,dt, \qquad (12.1)$$

где $t_в$ — время выстрела (действия силы $P_{кн}$);
$T_{отк}$ — время торможения откатных частей (действия силы R).

Так как $T_{отк} \gg t_в$, то для соблюдения равенства импульсов $R \ll P_{кн}$. При этом, чем больше длина отката, тем меньше сила сопротивления откату R.

Таким образом, противооткатные устройства позволяют значительно уменьшить силы, действующие на лафет. У современных орудий сила R_{max} в 30—40 раз меньше $P_{кн\,max}$.

Силы, действующие на орудие с упругим лафетом при откате

Для исключения влияния второстепенных и трудно учитываемых факторов, рассматривая действие выстрела на орудие, примем следующие допущения:

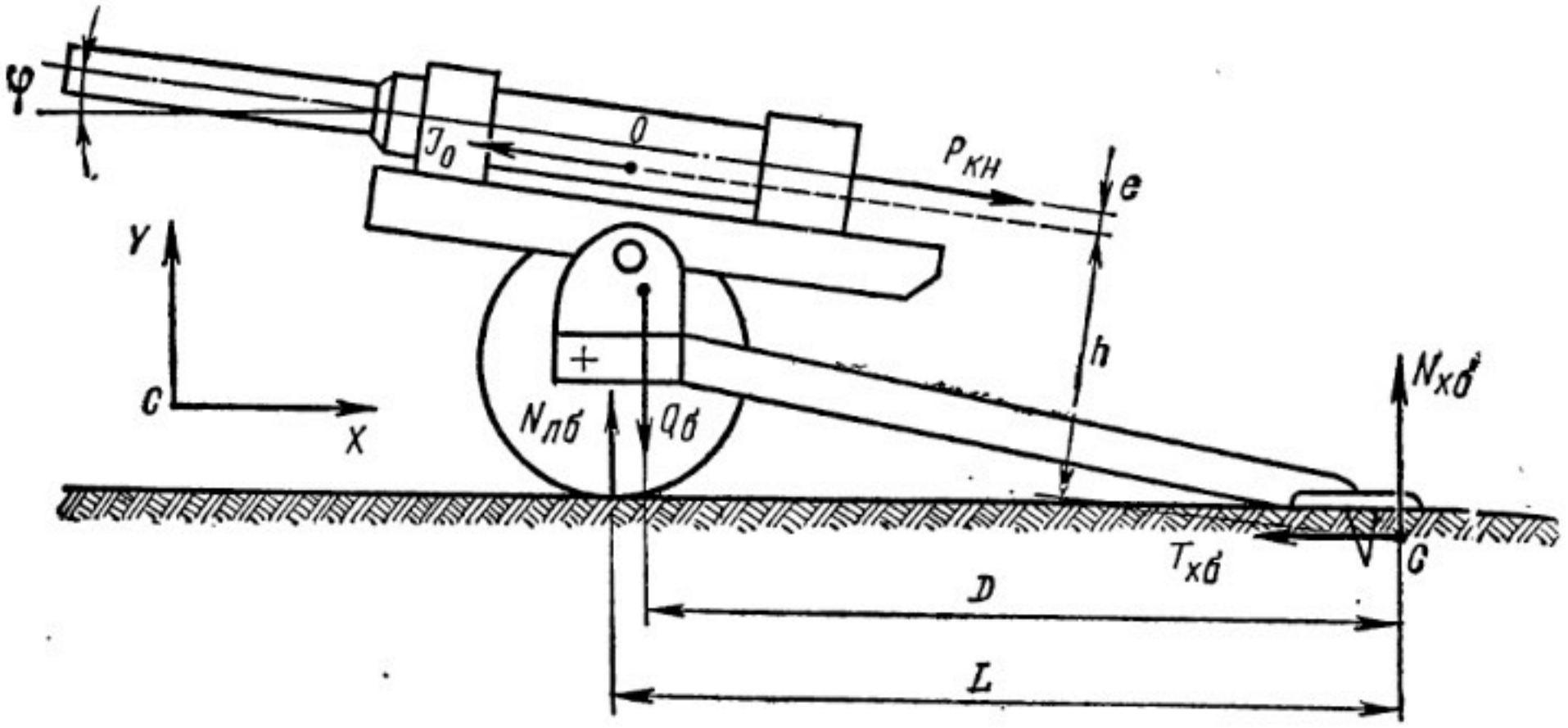


Рис. 12.1. Силы, действующие на орудие при откате

— орудие установлено на горизонтальное основание при угле горизонтальной наводки $\psi = 0$ и любом угле возвышения ствола φ;

— лафет и основание (грунт) являются абсолютно жесткими телами;

— все силы, действующие на орудие, лежат в вертикальной плоскости симметрии;

— орудие при выстреле остается в покое относительно основания.

При указанных допущениях на орудие при откате будут действовать следующие внешние силы (рис. 12.1):

$P_{кн}$ — сила отдачи;

$Q_б$ — вес орудия в боевом положении, равный в данном случае силе его тяжести;

$N_{лб}$ — сумма вертикальных реакций грунта на колеса;

$T_{хб}$, $N_{хб}$ — суммарные составляющие реакций сошников станин, сосредоточенные в центре давления сошников (точка C);

I_0 — сила инерции откатных частей, приложенная к их центру тяжести (точка O) на плече h относительно точки C.

Заметим, что сила сопротивления откату R является для системы тел откатные части — лафет силой внутренней, а введение силы инерции I_0 позволяет свести динамическую задачу к задаче

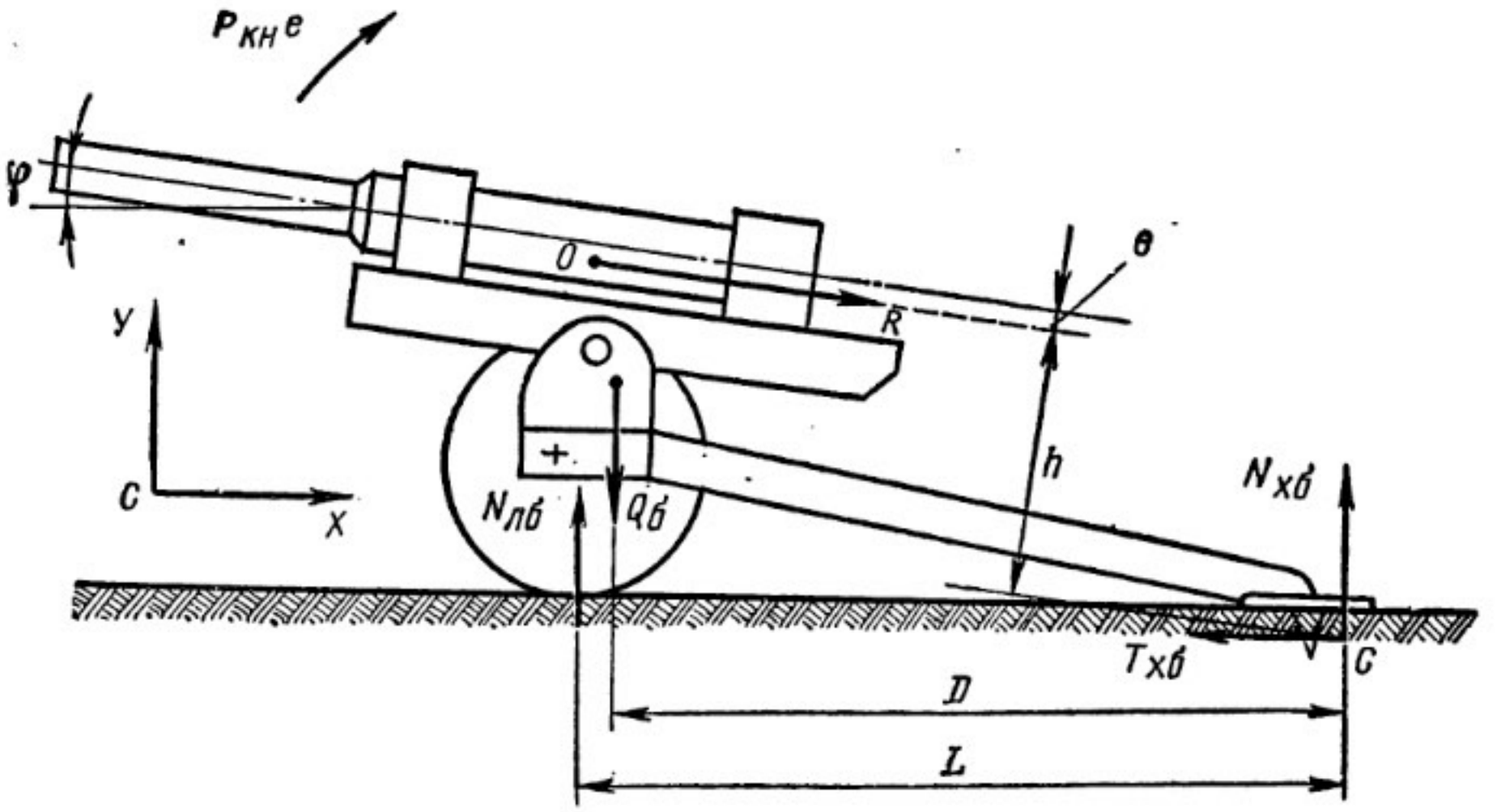


Рис. 12.2. Схема сил, действующих на лафет при откате

статики, применив принцип Даламбера. Поместив начало координат в точке C, составим уравнения равновесия:

$$\left.\begin{aligned} \Sigma X &= P_{кн}\cos\varphi - I_0\cos\varphi - T_{хб} = 0; \\ \Sigma Y &= -P_{кн}\sin\varphi + I_0\sin\varphi - Q_б + N_{хб} + N_{лб} = 0; \\ \Sigma M_c &= P_{кн}(h+e) - I_0 h - Q_б D + N_{лб} L = 0. \end{aligned}\right\} \quad (12.2)$$

Подставив в систему уравнений (12.2) значение силы инерции

$$M_0 \frac{dv}{dt} = I_0 = P_{кн} - R$$

и решив систему относительно реакций, получим:

$$T_{хб} = R\cos\varphi; \quad (12.3)$$

$$N_{лб} = \frac{Q_б D - Rh - P_{кн}e}{L}; \quad (12.4)$$

$$N_{хб} = Q_б + R\sin\varphi - N_{лб}. \quad (12.5)$$

Произведение $P_{кн}e = M_д$ в выражении (12.4) называется моментом динамической пары, а расстояние от центра тяжести откатных частей до оси канала ствола e — плечом динамической пары.

Анализ показывает, что систему сил, действующую на орудие при выстреле (рис. 12.1), можно заменить эквивалентной системой, действующей на лафет (рис. 12.2). При этом выражения

(12.3), (12.4) и (12.5) для реакций останутся прежними. Отсюда следует принципиальный вывод. Действие выстрела на орудие с упругим лафетом при откате сводится к возникновению момента динамической пары $M_д = P_{кн} e$ и силы сопротивления откату R, которая приложена к лафету по прямой, проходящей через центр тяжести откатных частей параллельно оси канала ствола.

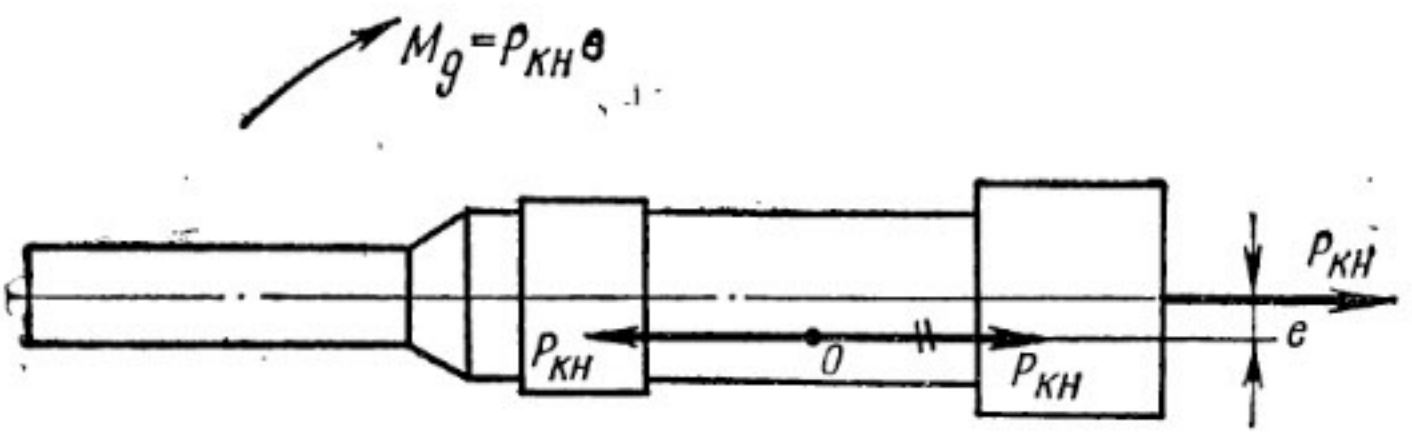


Рис. 12.3. Схема сил, вызывающих момент динамической пары

Возникновение момента динамической пары обусловлено смещением центра тяжести (точка O) откатных частей относительно оси канала ствола (рис. 12.3). Если приложить к центру тяжести две равные и противоположные по направлению силы $P_{кн}$, полу-

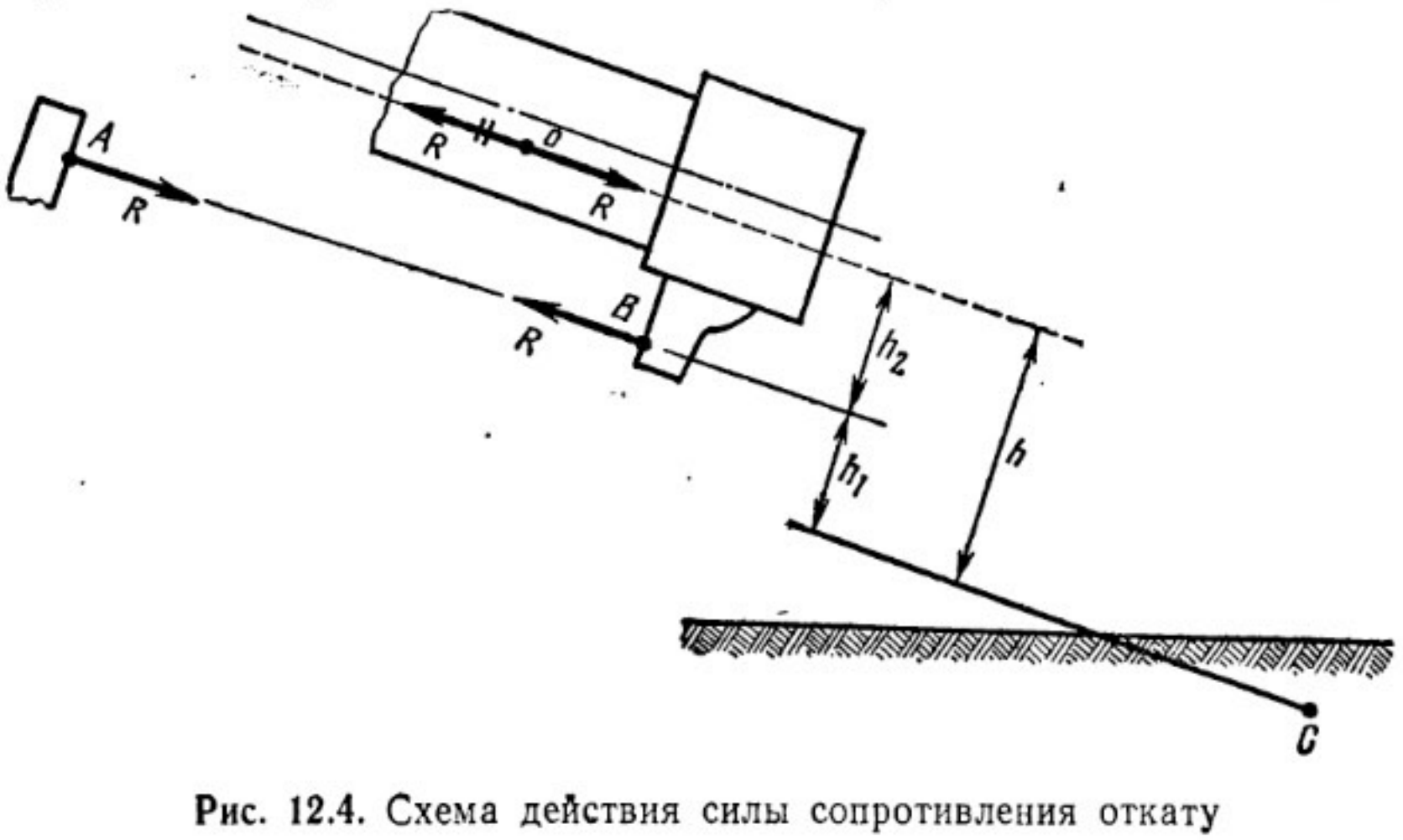


Рис. 12.4. Схема действия силы сопротивления откату

чаем: силу (перечеркнута), приложенную к центру тяжести откатных частей и вызывающую их откат; пару сил с моментом $M_д = P_{кн} e$, стремящихся повернуть ствол вместе с лафетом в вертикальной плоскости. При расположении центра тяжести откатных частей выше оси канала ствола момент динамической пары меняет свое направление. В этом случае $e < 0$.

Покажем, что независимо от действительного расположения противооткатных устройств силу R можно считать приложенной к лафету по линии, проходящей через центр тяжести откатных частей (рис. 12.4). При откате к лафету приложена сила сопротив-

ления откату R (точка A), вызывающая момент (относительно точки C)

$$M_1 = Rh_1.$$

Равную и противоположную по направлению силу R (точка B), действующую на ствол, аналогично предыдущему, приложим дважды к центру тяжести откатных частей. В результате получаем силу (перечеркнута), вызывающую торможение ствола, и пару сил, действующих на ствол и лафет с моментом

$$M_2 = Rh_2.$$

Суммарный момент сил, действующих на лафет:

$$M = M_1 + M_2 = Rh_1 + Rh_2 = R(h_1 + h_2) = Rh.$$

Это равнозначно действию на лафет одной силы R, проходящей через центр тяжести откатных частей. Аналогичный результат можно получить при любом другом расположении точек A и B, т. е. расположении цилиндров противооткатных устройств.

Необходимо отметить, что в плоскости, перпендикулярной оси канала ствола, на ствол и лафет при выстреле действует вращающий момент $M_{вр}$. Этот момент равен вращающему моменту, действующему со стороны нарезов на снаряд, и противоположен ему по направлению. Вращающий момент $M_{вр}$ уравновешивается моментом веса орудия относительно опорных точек колес.

Условие неподвижности орудия при откате

Под условием неподвижности орудия при откате ствола понимают отсутствие его перемещения в горизонтальной плоскости (вдоль оси X). Это условие выполняется (см. равенство (12.3) при $T_{хб} \geqslant R\cos\varphi$.

Орудие должно быть неподвижно при наиболее неблагоприятных условиях: $R = R_{max}$ и $\varphi = 0$. Тогда $T_{хб} \geqslant R_{max}$. Для орудий с жестким лафетом, когда на него вместо силы R_{max} действует сила $P_{кн\,max}$, условие неподвижности имеет вид $T_{хб} \geqslant P_{кн\,max}$.

Пример. Требуется определить площадь опорных сошников $S_с$ станин для 85-мм пушки, если $R_{max} \approx 5{,}5 \cdot 10^4$ Н и $P_{кн\,max} \approx 2 \cdot 10^6$ Н.

Допустимое удельное давление на грунт

$$p_{уд} = (4 \div 5) \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Для орудия с упругим лафетом для выполнения условия неподвижности площадь сошников должна быть равна

$$S_с = \frac{R_{max}}{p_{уд}} = \frac{5{,}5 \cdot 10^4}{4 \cdot 10^5} = 0{,}14 \text{ м}^2.$$

Если бы пушка была выполнена на жестком лафете, то для обеспечения ее неподвижности

$$S = \frac{P_{\text{кн max}}}{p_{\text{уд}}} = \frac{2 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^5} = 5 \text{ м}^2,$$

что практически неосуществимо.

Условие устойчивости орудия при откате

Под устойчивостью орудия понимают отсутствие его перемещения в вертикальной плоскости при откате ствола, т. е. отсутствие вращения орудия относительно опоры сошников — точки C (отсутствие прыжка).

Вращение орудия будет отсутствовать до момента отрыва колес от грунта.

Это условие выполняется (см. равенство (12.4) при $N_{\text{лб}} \geqslant 0$, т. е. когда числитель

$$Q_6 D - Rh - P_{\text{кн}} e \geqslant 0$$

или

$$P_{\text{кн}} e + Rh \leqslant Q_6 D. \qquad (12.6)$$

Левая часть неравенства (12.6) представляет собой опрокидывающий момент $M_{\text{опр}}$, а правая часть — стабилизирующий момент $M_{\text{ст}}$. Следовательно, орудие будет устойчиво при откате, если в процессе отката опрокидывающий момент будет меньше стабилизирующего либо равен ему:

$$M_{\text{опр}} \leqslant M_{\text{ст}}.$$

Величины $M_{\text{опр}}$ и $M_{\text{ст}}$ в процессе отката переменны, так как силы $P_{\text{кн}}$, R, а также плечо D являются для каждого данного орудия величинами переменными.

Для удобства анализа условия устойчивости преобразуем выражение для стабилизирующего момента. При откате центр тяжести откатных частей перемещается назад, следовательно, перемещается назад и центр тяжести орудия, т. е. плечо D уменьшается. Найдем плечо D. Вес орудия в боевом положении равен сумме весов:

$$Q_6 = Q_0 + Q_{\text{н}}, \qquad (12.7)$$

где Q_0 — вес откатных частей;
$Q_{\text{н}}$ — вес неподвижных частей лафета.

Рассмотрим схему расположения сил веса орудия и его частей до выстрела и в момент времени, когда центр тяжести откатных частей переместился на величину X (рис. 12.5).

Так как момент равнодействующей равен сумме моментов составляющих сил, то уравнения моментов сил веса орудия относительно точки C будут иметь вид:

при $X=0$ $\quad Q_б D_о = Q_о l_о + Q_н l_н$;

при $X \neq 0$ $\quad Q_б D = Q_о l_x + Q_н l_н$.

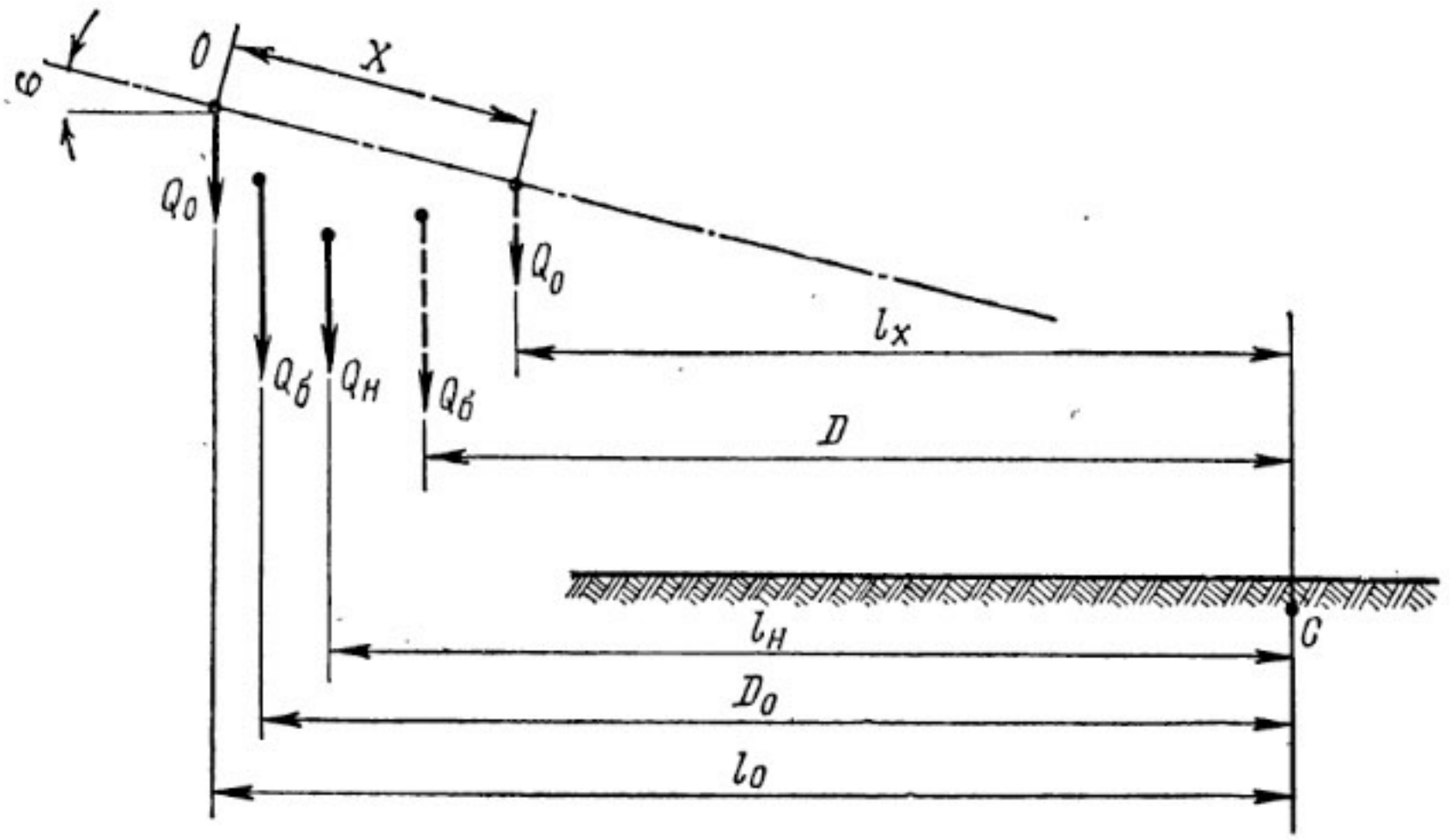


Рис. 12.5. Схема действия сил веса орудия до отката и в ходе отката

Вычтя из первого уравнения второе, получим

$$Q_б D_0 - Q_б D = Q_о (l_о - l_x) = Q_о X \cos\varphi,$$

откуда

$$Q_б D = Q_б D_о - Q_о X \cos\varphi. \qquad (12.8)$$

С учетом полученного выражения (12.8) условие устойчивости артиллерийского орудия при откате примет окончательный вид:

$$P_{кн} e + Rh \leqslant Q_б D_о - X Q_о \cos\varphi. \qquad (12.9)$$

Проанализируем полученное условие устойчивости.

1. Для орудий с жестким лафетом, т. е. при $R = P_{кн\,max}$ и $X=0$, условие устойчивости (12.9) запишется в виде

$$P_{кн\,max}(e+h) \leqslant Q_б D_о.$$

При $\varphi=0$ $e+h \approx H_о$ — высоте линии огня.

Пример. Примем округленно для 85-мм пушки Д-44

$$P_{кн\,max} = 2 \cdot 10^6 \text{Н}, \quad Q_б = 2{,}3 \cdot 10^4 \text{ Н}, \quad H_о = 1 \text{ м}, \quad D_о = 4 \text{ м}.$$

Найдем условия, при которых обеспечивалась бы устойчивость

такого орудия, если его лафет сделать жестким. В этом случае при указанном значении D_0 вес орудия должен быть равен

$$Q_б = \frac{P_{кн\ max} H_0}{D_0} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 1}{4} = 0{,}5 \cdot 10^6 \text{Н}\ (\sim 50\ \text{т});$$

при указанном значении $Q_б$ длина станин

$$D_0 = \frac{P_{кн\ max} H_0}{Q_б} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 1}{2{,}3 \cdot 10^4} = 87\ \text{м}.$$

Отсюда совершенно очевидно, что создать артиллерийские орудия с современной баллистикой на жестком лафете невозможно.

2. В период действия пороховых газов устойчивость орудия тем выше, чем меньше сила $P_{кн}$ и плечо e. Величина силы $P_{кн}$ обусловлена заданными баллистическими характеристиками орудия.

Чтобы уменьшить или сделать отрицательным плечо e, необходимо, чтобы центр тяжести откатных частей располагался возможно ближе к оси канала ствола либо выше оси (как отмечалось ранее, если центр тяжести расположен выше оси канала ствола, т. е. $e<0$, момент $M_д$ меняет направление и выполняет роль стабилизирующего момента). С этой целью, например, противооткатные устройства размещают либо симметрично относительно ствола, либо над стволом. Верхнее расположение противооткатных устройств, кроме того, позволяет уменьшить высоту линии огня и зависящее от нее плечо h. Уменьшение плеча приводит к уменьшению опрокидывающего момента Rh.

Необходимо отметить, что момент $P_{кн}e$ влияет не только на устойчивость орудия. Его наличие повышает динамические нагрузки на подъемный механизм, вызывает колебания ствола, приводящие к дополнительному рассеиванию снарядов.

У большинства орудий плечо динамической пары e не превышает 5—30 мм.

3. Устойчивость орудия повышается с уменьшением силы сопротивления откату R и плеча h. Однако с уменьшением силы R увеличивается длина отката, что может привести при больших углах возвышения ствола к ударам казенника о грунт.

Уменьшение плеча h возможно только за счет понижения высоты линии огня H_0 (при неизменной длине лафета). При понижении высоты линии огня опять же для исключения ударов казенника о грунт необходимо сокращать длину отката, т. е. увеличивать силу R. Кроме того, уменьшение высоты линии огня ограничивается условиями общей компоновки орудия. Поэтому у современных полевых орудий $H_0 = 0{,}8 \div 1$ м.

4. Устойчивость орудия повышается с увеличением веса орудия в боевом положении $Q_б$ и плеча D_0. Очевидно, что увеличение $Q_б$ и D_0 ограничено условиями маневренности. Некоторого увеличения плеча D_0 можно достичь применением складывающихся или телескопических станин (например, у горных орудий).

5. Устойчивость орудия повышается с увеличением веса откатных частей Q_0 (при неизменном весе $Q_б$). Из условия устойчивости (12.9) непосредственно вытекает, что с увеличением Q_0 момент устойчивости уменьшается. Однако при этом еще в большей степени уменьшается опрокидывающий момент вследствие уменьшения силы R (при равной длине отката), что в итоге приводит к повышению устойчивости. Поясним это.

Исходя из принципа независимости действия сил применим к откатным частям теорему об изменении количества движения. Под действием импульса силы $P_{кн}$, равного $I_в = \int_0^{t_в} P_{кн}\,dt$, откатные части получат максимальную скорость

$$W_{max} = \frac{g}{Q_0} I_в. \qquad (12.10)$$

Полученная кинетическая энергия откатных частей будет погашена силой R на длине отката λ:

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{W_{max}^2}{2} = \int_0^{\lambda} R\,dX = R_{ср}\lambda. \qquad (12.11)$$

Подставив значение W_{max} (12.10) в выражение (12.11) и разрешив его относительно $R_{ср}$, получим

$$R_{ср} = \frac{gI_в^2}{2Q_0\lambda}. \qquad (12.12)$$

Следовательно, с увеличением веса откатных частей при прочих равных условиях пропорционально уменьшается сила сопротивления откату R.

Так как доля члена $Q_0 X \cos\varphi$ в $M_{ст}$ меньше доли члена Rh в $M_{опр}$, то увеличение Q_0 в конечном итоге приводит к увеличению устойчивости орудия.

Для увеличения веса откатных частей у многих орудий откатываются цилиндры противооткатных устройств.

Зависимость (12.2) показывает также, что для мощных орудий (с большим $I_в$) требуется большая сила $R_{ср}$. Кроме того, величина силы $R_{ср}$ обратно пропорциональна длине отката λ, на что указывалось ранее.

6. Устойчивость орудия повышается с увеличением угла возвышения ствола. С ростом φ увеличивается $M_{ст}$ за счет уменьшения $\cos\varphi$ и уменьшается $M_{опр}$ за счет уменьшения плеча h (рис. 12.2). При некотором φ траектория центра тяжести откатных частей может проходить через точку C. В этом случае момент $Rh=0$, так как $h=0$. При дальнейшем увеличении φ момент Rh меняет свой знак и способствует увеличению устойчивости орудия. Свойство увеличения устойчивости орудия с увеличением угла возвышения ствола φ используют для обеспечения устойчивости мощных орудий путем осуществления переменной длины отката.

Орудия с переменной длиной отката при малых φ для уменьшения силы R имеют откат длинный. Чтобы исключить удар казенника о грунт при больших φ, откат делают коротким. Несмотря на увеличение при этом R, устойчивость орудия в силу указанных выше причин не нарушится.

Для исключения удара казенника о грунт по мере увеличения углов возвышения ствола можно не изменять длину отката (силу R), а без нарушения устойчивости увеличивать высоту линии огня H_0 и соответственно плечо h. Орудия с переменной высотой линии огня распространения не получили из-за сложности конструкции.

7. Условие устойчивости (12.9) позволяет получить теоретическую зависимость предельного значения силы сопротивления откату $R_{пр}=f(X)$, при которой данное орудие будет устойчивым.

При этом величину угла возвышения ствола принимают $\varphi=\varphi_{пр}$. Предельный угол устойчивости $\varphi_{пр}$ — это такой наименьший угол возвышения ствола, при котором устойчивость данного орудия еще обеспечивается. Чтобы иметь возможность вести стрельбу прямой наводкой, для всех полевых орудий целесообразно иметь $\varphi_{пр}=0$.

Для гаубиц и мощных дальнобойных орудий, устойчивость которых при φ, близких к нулю, обеспечить трудно, допускается значение $\varphi_{пр}=5\div10°$ и более.

Приняв в условии (12.9) $\varphi=\varphi_{пр}$, соответствующее ему $h=h_{пр}$ и разрешив его относительно $R_{пр}$, получим

$$R_{пр}=\frac{Q_б D_0}{h_{пр}}-\frac{Q_0\cos\varphi_{пр}}{h_{пр}}X-\frac{P_{кн}e}{h_{пр}}. \qquad (12.13)$$

Первые два слагаемых уравнения (12.13) представляют собой прямую, из ординат которой до прекращения действия силы $P_{кн}$ вычитается член $\frac{P_{кн}e}{h_{пр}}$, т. е.

$$R_{пр}=(a-bX)-\frac{P_{кн}e}{h_{пр}}.$$

На графике $R_{пр}=f(X)$ (рис. 12.6) X_τ — путь откатных частей к моменту прекращения действия силы $P_{кн}$. При расчетах принимают

$$R=nR_{пр}, \qquad (12.14)$$

где $n=0{,}85\div0{,}95$ — коэффициент запаса устойчивости.

При любом достаточно плавном законе изменения силы сопротивления откату, лежащем в пределах заштрихованной площади графика, устойчивость орудия при откате будет обеспечиваться.

В заключение отметим, что вследствие влияния упругости шин, податливости и упругости грунта при выстреле имеют место прыжки орудия и отход назад, что приводит к сбиваемости наводки. Так, величина прыжка у 85-мм пушки Д-44 составляет около 40 мм, а у 122-мм гаубицы М-30 доходит до 350 мм. Чтобы не при-

чинять ушибов наводчику, отход не должен превышать величины, равной удалению зрачка выхода прицела.

Вследствие прыжка, наличия зазоров и упругости деталей лафета после выстрела происходят колебания всего орудия и качающейся части. Время затухания этих колебаний может ограничивать возможности увеличения скорострельности.

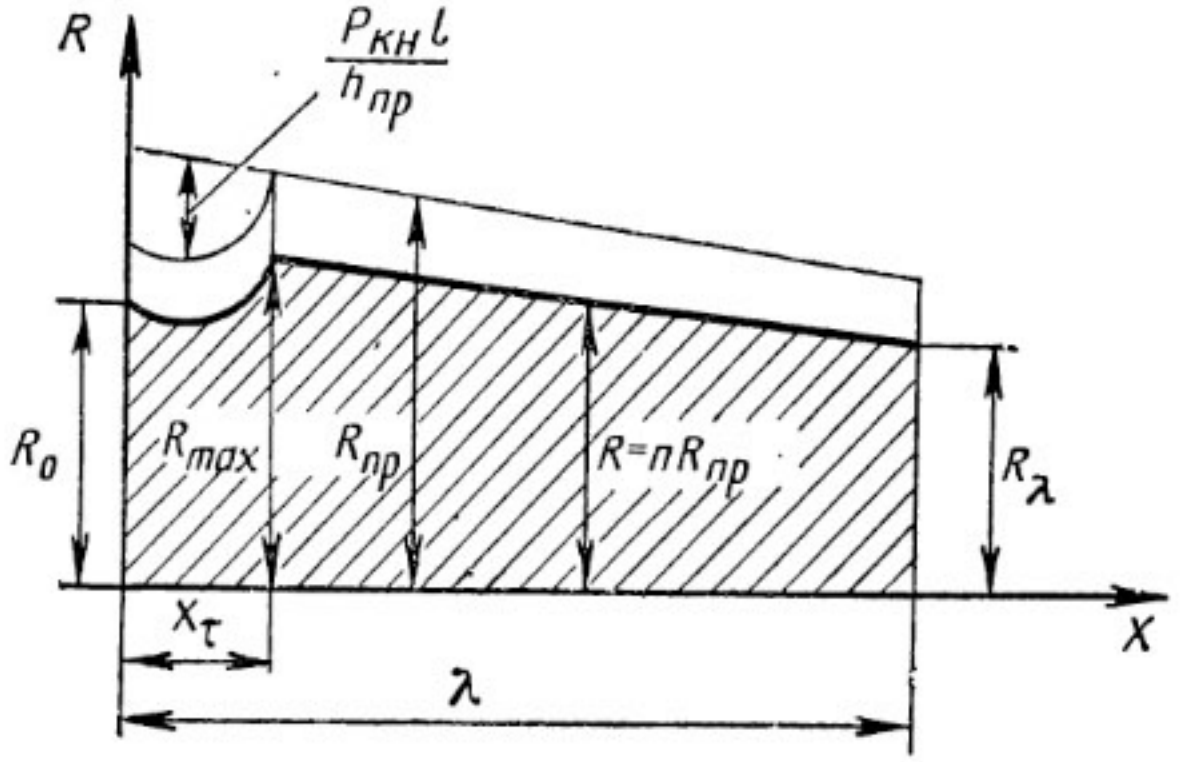


Рис. 12.6. График теоретического закона изменения силы сопротивления откату

Для уменьшения влияния упругости шин некоторые орудия имеют устройства для установки их в боевом положении на более жесткие опоры (домкраты, поддоны).

§ 12.2. СВОБОДНЫЙ ОТКАТ СТВОЛА

У орудий с упругим лафетом при выстреле под действием силы $P_{кн}$ снаряд и откатные части начнут перемещаться одновременно. С началом движения откатных частей на них начнет действовать тормозящая сила — сила сопротивления откату R. Так как давление пороховых газов вначале велико, то $P_{кн}>R$ и движение откатных частей будет ускоренным. С падением давления в канале ствола величина $P_{кн}$ будет уменьшаться. В момент времени, когда $P_{кн}=R$, скорость откатных частей достигнет максимума. В дальнейшем $P_{кн}<R$ и откатные части будут двигаться с замедлением до остановки.

Расчет отката сводится к определению пути $X=f(t)$ и скорости $V=f(t)$ откатных частей. Для этого было бы достаточно проинтегрировать уравнение движения откатных частей:

$$M_o \frac{dV}{dt} = P_{кн} - R.$$

Однако аналитической зависимости $P_{кн}=f(t)$, удобной для интегрирования в периоде движения снаряда по каналу ствола, нет (рис. 12.7). Поэтому решать задачу целесообразно, используя принцип независимости действия сил. Сначала рассматривается

так называемый свободный откат, когда на откатные части действует только сила $P_{кн}$. Затем рассматривается торможенный откат, при котором учитывается влияние силы R на скорость и путь свободного отката.

По физической сущности явления свободный откат делят на три периода (рис. 12.7): первый — период движения снаряда по каналу ствола; второй — период последействия газов; третий — период движения откатных частей по инерции.

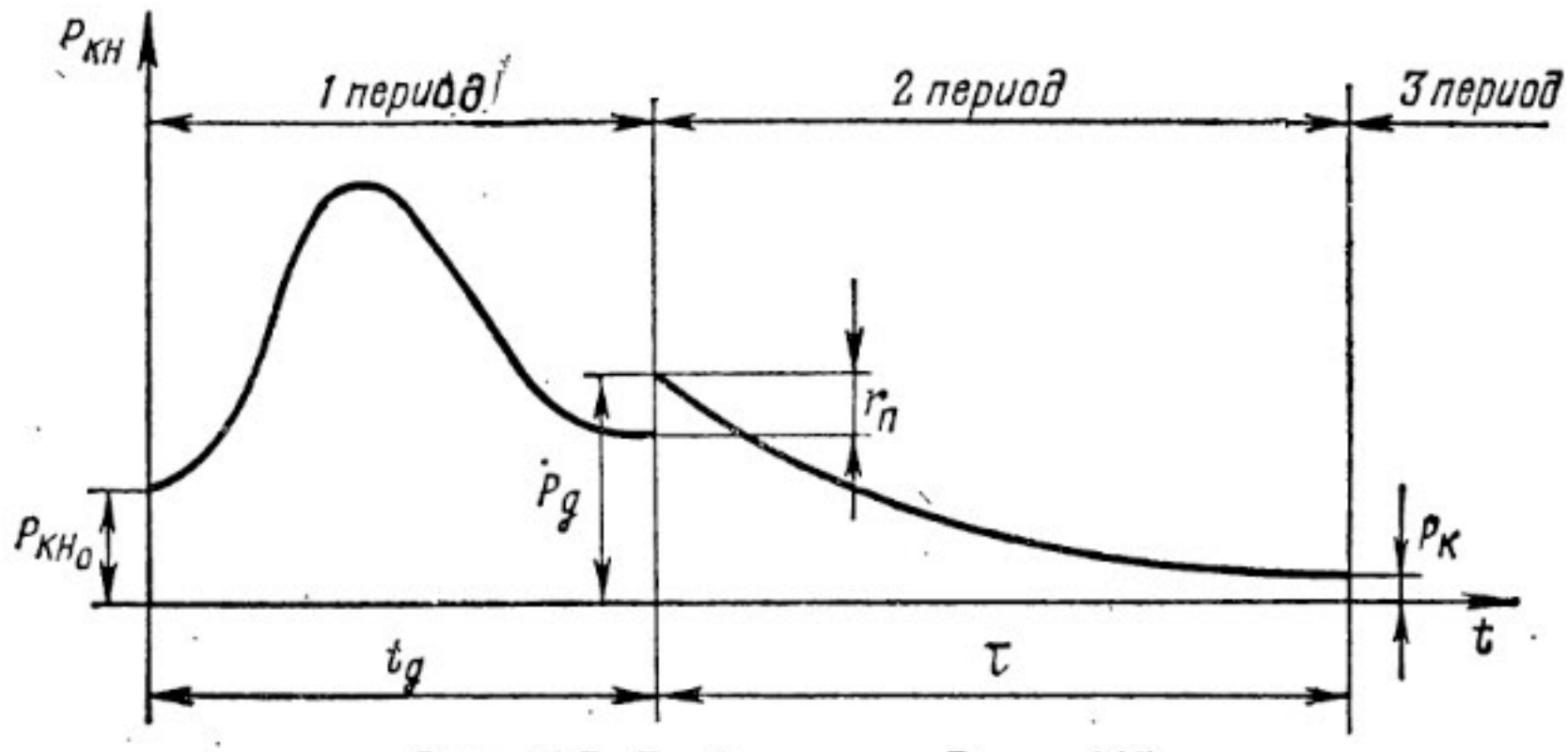


Рис. 12.7. График силы $P_{кн} = f(t)$

Первый период. Поскольку для этого периода аналитической зависимости $P_{кн}=f(t)$ нет, воспользуемся законом сохранения количества движения изолированной системы тел откатные части — заряд, снаряд (сила $P_{кн}$ является внутренней, а сила веса откатных частей будет учитываться при рассмотрении торможенного отката).

При этом примем следующие допущения:

— масса заряда и продуктов сгорания равномерно распределена между дном канала ствола и дном снаряда;

— скорость движения продуктов сгорания и несгоревших частиц заряда в пределах заснарядного пространства изменяется по линейному закону, что равносильно движению одной половины массы заряда со скоростью снаряда, а другой — со скоростью откатных частей.

Введем следующие обозначения:

M_o — масса откатных частей;
q — масса снаряда;
ω — масса заряда;
W — абсолютная скорость откатных частей;
v — скорость движения снаряда по каналу ствола (относительная скорость);
L — путь откатных частей при свободном откате.

Абсолютная скорость снаряда и прилегающей к нему половине массы заряда будет равна $v - W$.

Так как до выстрела количество движения рассматриваемой изолированной системы равно нулю, то и в любой момент выстрела в результате действия только внутренней силы $P_{кн}$ оно также равно нулю, т. е.

$$(M_o + 0{,}5\omega)\, W - (q + 0{,}5\omega)\,(v - W) = 0.$$

Откуда

$$W = \frac{q + 0{,}5\omega}{M_o + q + \omega}\, v. \qquad (12.15)$$

Так как $dL = W dt$ и $dl = v dt$,
то

$$L = \frac{q + 0{,}5\omega}{M_o + q + \omega}\, l, \qquad (12.16)$$

где l — путь снаряда по каналу.

Подставляя в формулы (12.15) и (12.16) значения v и l для любого момента времени движения снаряда по каналу, получаем соответствующие значения W и L.

Например, для конца периода

$$\left.\begin{aligned} W_д &= \frac{q + 0{,}5\omega}{M_o + q + \omega}\, v_д; \\ L_д &= \frac{q + 0{,}5\omega}{M_o + q + \omega}\, l_д. \end{aligned}\right\} \qquad (12.16^*)$$

В теории лафетов широко применяется другая формула для определения $W_д$ через начальную скорость снаряда v_o. Ее получить наиболее просто, пренебрегая в знаменателе (12.16) суммой $q+\omega$ и полагая $v_д \approx v_o$.
Тогда

$$W_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{M_o}\, v_o. \qquad (12.17)$$

При практических расчетах достаточно рассчитать W и L для момента времени t_m (максимального давления в канале ствола) и $t_д$ (конца периода).

Второй период. Будем полагать, что снаряд мгновенно покидает дульный срез ствола. Тогда сила $P_{кн}$ в начале периода последействия газов будет равна (рис. 12.7)

$$P_{кнд} = P_д = p_д S.$$

В дальнейшем по мере истечения газов из канала ствола сила $P_{кн}$ будет уменьшаться. Для расчета свободного отката в периоде последействия газов задаются аналитическим выражением $P_{кн} = f(t)$ — законом последействия газов.

Советскими и зарубежными учеными предложено несколько аналитических зависимостей $P_{кн}=f(t)$. Наиболее хорошо подтверждается опытными данными закон проф. Бравина Е. Л.

$$P_{кн}=P_{д}-e^{-\frac{t}{b}}, \qquad (12.18)$$

где e — основание натуральных логарифмов;
b — параметр показательной функции, выражающий собой время истечения пороховых газов из канала ствола со средней скоростью $u_{ср}$.

За конец периода последействия принимают момент времени τ, при котором сила $P_{кн\,\tau}$ очень мала. Практически этот момент наступает при давлении $p_{к}=2\,\frac{кгс}{см^2}$, т. е. при

$$P_{кн\tau}=P_{к}=p_{к}S=2S.$$

Тогда из выражения (12.18) легко определяется продолжительность периода последействия газов:

$$2S=p_{д}Se^{-\frac{\tau}{b}}. \qquad (12.19)$$

После сокращения на S и логарифмирования (12.19) получим

$$\ln 2=\ln p_{д}-\frac{\tau}{b},$$

откуда

$$\left.\begin{aligned}\tau&=b\ln 0{,}5p_{д},\\ \text{или}\quad \tau&=2{,}3b\lg 0{,}5p_{д}.\end{aligned}\right\} \qquad (12.20)$$

В системе СИ формулы (12.20) примут вид

$$\left.\begin{aligned}\tau&=b\ln\frac{p_{д}}{1{,}96\cdot 10^{5}},\\ \tau&=2{,}3b\lg\frac{p_{д}}{1{,}96\cdot 10^{5}},\end{aligned}\right\} \qquad (12.21)$$

где $p_{д}$ в $Н/м^2$.

Приняв закон Бравина, получим уравнение движения откатных частей такого вида:

$$M_{о}\frac{dW}{dt}=P_{д}e^{-\frac{t}{b}}$$

или

$$dW=\frac{P_{д}}{M_{о}}e^{-\frac{t}{b}}dt. \qquad (12.22)$$

Проинтегрировав левую часть уравнения (12.22) от $W_д$ до W и правую от 0 до t, получим текущее значение скорости свободного отката во втором периоде:

$$W = W_д + \frac{bP_д}{M_o}\left(1 - e^{-\frac{t}{b}}\right). \qquad (12.23)$$

Так как $dL = Wdt$, то

$$dL = W_д dt + \frac{bP_д}{M_o}\left(1 - e^{-\frac{t}{b}}\right) dt. \qquad (12.24)$$

Интегрируя левую часть (12.24) от $L_д$ до L и правую от 0 до t, получим текущее значение пути отката:

$$L = L_д + W_д t + \frac{bP_д}{M_o}\left[t - b\left(1 - e^{-\frac{t}{b}}\right)\right]. \qquad (12.25)$$

При практических расчетах W и L во втором периоде задаются $t=b$, $t=2b$ и т. д. В этом случае получают 4—5 расчетных точек. В конце периода последействия $t=\tau$, $W=W_{max}$ и $L=L_\tau$. Подставляя эти значения в формулы (12.23) и (12.25) и пренебрегая после раскрытия скобок произведением

$$P_д e^{-\frac{\tau}{b}} = P_{кн}\tau \approx 0,$$

получаем значения скорости и пути свободного отката в конце второго периода:

$$W_\tau = W_{max} = W_д + \frac{bP_д}{M_o}; \qquad (12.26)$$

$$L_\tau = L_д + W_д\tau + \frac{bP_д}{M_o}(\tau - b). \qquad (12.27)$$

Очевидно, что без знания параметра b рассчитать W и L невозможно. Для определения параметра b используют формулу (12.26), из которой

$$b = \frac{M_o}{P_д}(W_{max} - W_д). \qquad (12.28)$$

В свою очередь W_{max} находят по одной из основных полуэмпирических формул теории лафетов:

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{M_o} v_o, \qquad (12.29)$$

где β — коэффициент действия пороховых газов.

Формула (12.29) вытекает из уравнения количества движения системы откатные части — заряд, снаряд в момент прекращения действия пороховых газов, т. е.

$$W_{max}M_o - v_o q - u_{ср}\omega = 0, \qquad (12.30)$$

где v_0 — начальная скорость снаряда;

$u_{ср}$ — средняя скорость истечения пороховых газов из канала ствола.

Из уравнения (12.30) следует, что

$$W_{max} = \frac{q + \frac{u_{ср}}{v_0}\omega}{M_0},$$

где

$$\frac{u_{ср}}{v_0} = \beta. \qquad (12.31)$$

Отсюда коэффициент действия пороховых газов — это отношение средней скорости истечения пороховых газов из канала ствола к начальной скорости снаряда.

Точность определения максимальной скорости свободного отката W_{max} и параметра b зависит от точности определения коэффициента действия пороховых газов β.

Для расчета коэффициента существует ряд эмпирических и теоретических формул.

Наиболее употребимы следующие формулы:

— французская формула

$$\beta = \frac{1300}{v_0} \qquad (12.32)$$

для $v_0 < 700$ м/с (для гаубиц);

— формула АНИИ (для пушек)

$$\beta = 0{,}15 + \frac{1400}{v_0}; \qquad (12.33)$$

— формула проф. В. Е. Слухоцкого

$$\beta = \frac{1{,}59 a_0}{v_0}, \qquad (12.34)$$

где $a_0 = \sqrt{\kappa g p_д w_д}$ — скорость звука в пороховых газах при дульном давлении;

κ — показатель адиабаты, принимаемый равным 1, 2;

$w_д$ — удельный объем пороховых газов в момент вылета снаряда.

Кроме зависимости (12.28) для вычисления параметра b применяется другая, из нее вытекающая:

$$b = \frac{(\beta - 0{,}5)\omega}{P_д} v_0.$$

Для получения последней зависимости в формулу (12.28) подставляют значения W_{max} и $W_д$ из выражений (12.29) и (12.17).

Третий период свободного отката характерен движением откатных частей со скоростью W_{max} по инерции. В заключение приводим график изменения элементов свободного отката W и L (рис. 12.8).

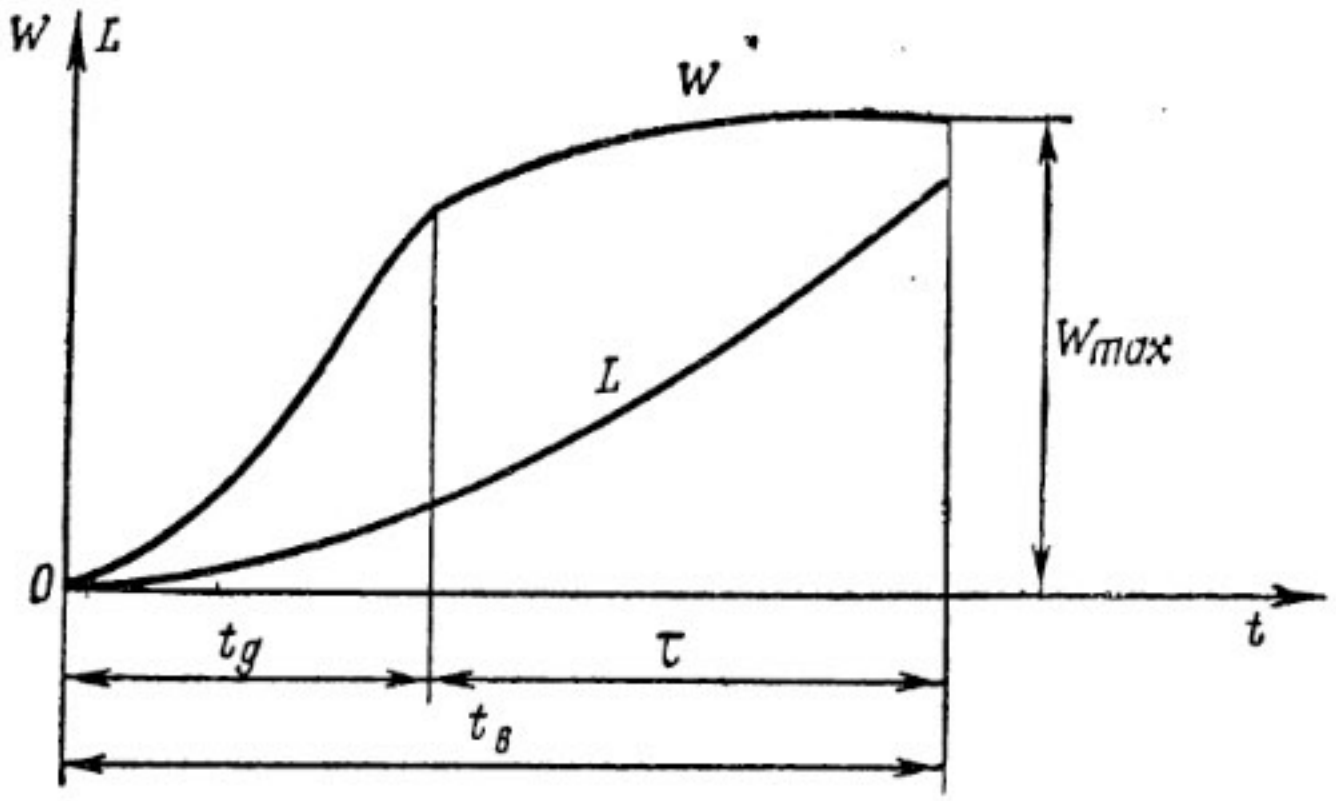


Рис. 12.8. График скорости и пути свободного отката

§ 12.3. ДУЛЬНЫЙ ТОРМОЗ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТКАТ СТВОЛА

Дульный тормоз — это устройство, предназначенное для уменьшения действия выстрела на лафет за счет энергии пороховых газов, истекающих из канала ствола.

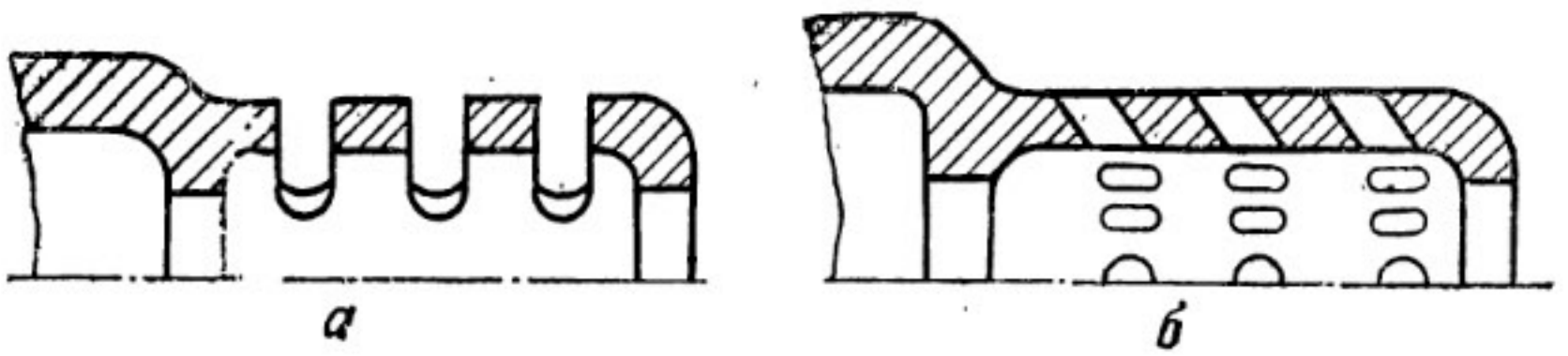


Рис. 12.9. Типы дульных тормозов (вид сверху):
а — щелевой активного типа; *б* — сетчатый реактивного типа; *в* — двухкамерный активно-реактивного типа

Конструктивно дульный тормоз представляет собой либо часть ствола с симметрично расположенными боковыми отверстиями (ствольный дульный тормоз), либо деталь с боковыми отверстиями (дульный тормоз), которая жестко соединяется с дульной частью ствола. По форме боковых отверстий дульные тормоза разделяют на оконные (камерные), щелевые и сетчатые (дырочные) (рис. 12.9).

Сущность действия дульного тормоза любой конструкции заключается в следующем. Вследствие давления на стенки отверстий части истекающих через них газов возникает тормозящая сила $R_{дт}$, которая уменьшает силу $P_{кн}$, вызывающую откат ствола. Величина тормозящей силы зависит от количества пороховых газов, попавших на стенки, и угла отражения потока от них. При наличии дульного тормоза сила отдачи $P_{кн\,дт}$, действующая вдоль оси канала ствола, будет равна

$$P_{кн\,дт} = P_{кн} - R_{дт}.$$

По характеру действия дульные тормоза условно делят на три типа: активные, реактивные, активно-реактивные.

У активных дульных тормозов стенки отверстий перпендикулярны оси канала ствола.

У реактивных дульных тормозов стенки отверстий наклонены к оси канала ствола в сторону казенной части. В этом случае в результате большого отклонения стенками отверстий истекающих частиц газов возрастает их тормозящее действие на стенки, т. е. увеличивается реактивное действие дульного тормоза.

Совершенно очевидно, что дульные тормоза работают только в периоде последействия газов.

Дульный тормоз был применен впервые в России в 1862 г. в трехпудовой пушке с жестким лафетом для уменьшения отката орудия. В стволе пушки было сделано восемь отверстий под углом 45° к оси канала ствола. Однако затем дульные тормоза не получили распространения, так как вопрос уменьшения действия выстрела на лафет был решен с введением противооткатных устройств. После первой мировой войны в связи с увеличением мощности орудий дульные тормоза получили широкое распространение.

У современных орудий дульные тормоза выполняются либо как ствольные, либо навинчивающимися на дульную часть ствола. Навинтной дульный тормоз снабжается левой резьбой и стопорами во избежание самоотвинчивания при выстреле. Для исключения ударов снаряда о перегородки дульного тормоза его осевые отверстия должны быть больше калибра ствола. Важным требованием к дульному тормозу является симметричность расположения боковых отверстий. При несимметричности отверстий возникают начальные возмущающие воздействия на снаряд, повышающие рассеивание. Шаткость дульного тормоза совершенно недопустима, так как она может вызвать удар снаряда о перегородки и преждевременный разрыв его. Стрельба холостыми выстрелами без предварительного свинчивания навинтного дульного тормоза или применения специальных устройств (за исключением 122-мм гаубицы Д-30) запрещается. Вследствие ударного характера нагрузок на дульный тормоз в его стенках могут возникать трещины. Поэтому при эксплуатации дульных тормозов необходим регулярный и тщательный их осмотр.

Основными недостатками дульных тормозов являются демаскирующее действие облака пыли, подымаемое выходящими через окна газами, а также воздействие газов на расчет. Пороховые газы, истекающие из дульного тормоза, создают вокруг орудия зону повышенного давления (рис. 12.10). Значение избыточного давления на местах расчета не должно превышать $\Delta p = 0{,}2 \div 0{,}3$ кгс/см² и при стрельбе в защитных шлемах $\Delta p = 0{,}5$ кгс/см².

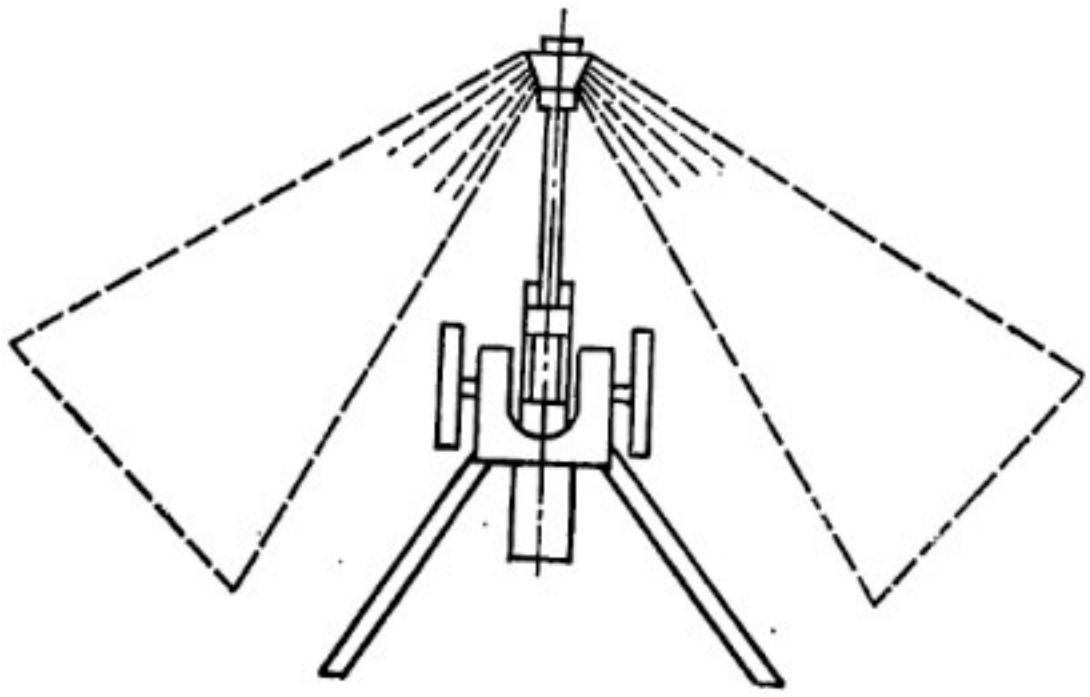


Рис. 12.10. Схема действия пороховых газов, истекающих из дульного тормоза

Основной энергетической характеристикой дульного тормоза является коэффициент эффективности, или просто эффективность. Коэффициент эффективности выражает относительное количество энергии откатных частей, поглощенное дульным тормозом:

$$\xi = \frac{\frac{M_0 W_{max}^2}{2} - \frac{M_0 W_{\tau дт}^2}{2}}{\frac{M_0 W_{max}^2}{2}} = 1 - \left(\frac{W_{\tau дт}}{W_{max}}\right)^2, \qquad (12.35)$$

где $W_{\tau дт}$ — скорость свободного отката в конце периода последействия при наличии дульного тормоза.

Эффективность будет тем больше, чем большему количеству газов дульный тормоз изменит направление истечения и чем на больший угол будет изменено это направление. У современных орудий величина ξ лежит в пределах 25—50%, у некоторых доходит до 70—80%.

Зная ξ и W_{max}, из выражения (12.35) можно найти скорость свободного отката в конце второго периода при наличии дульного тормоза:

$$W_{\tau дт} = W_{max}\sqrt{1-\xi}. \qquad (12.36)$$

При отсутствии дульного тормоза приращение скорости отката во втором периоде всегда больше нуля (рис. 12.11):

$$\Delta W = W_{max} - W_д > 0.$$

При наличии дульного тормоза приращение скорости свободного отката во втором периоде в зависимости от величины ξ может быть больше или меньше нуля:

$$\Delta W'_{\text{дт}} = W'_{\tau\text{дт}} - W_{\text{д}} > 0 \quad \text{(кривая 1)};$$

$$\Delta W''_{\text{дт}} = W''_{\tau\text{дт}} - W_{\text{д}} < 0 \quad \text{(кривая 2)}.$$

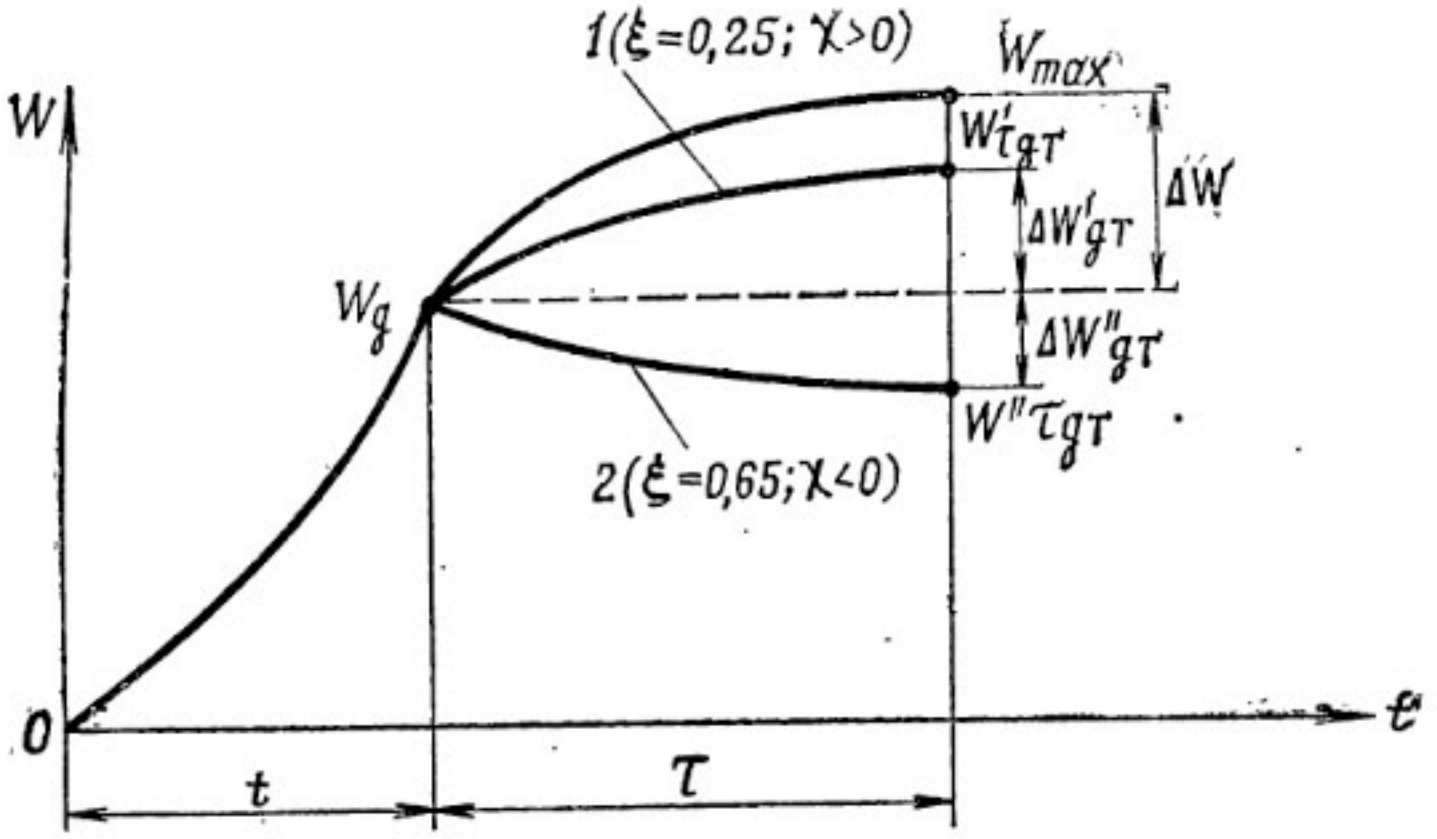


Рис. 12.11. График скорости свободного отката без и при наличии дульного тормоза

С точки зрения физики это явление означает следующее. При $\Delta W_{\text{дт}} < 0$ конструкция дульного тормоза такова, что во втором периоде сила $P_{\text{кн дт}}$ меняет свое направление, т. е. из силы, вызывающей откат, превращается в силу тормозящую, так как $R_{\text{дт}} > P_{\text{кн}}$.

Для учета влияния дульного тормоза на элементы свободного отката W и L в любой текущий момент времени используется импульсная характеристика дульного тормоза.

Импульсной характеристикой называется отношение импульса силы $P_{\text{кн дт}}$ при наличии дульного тормоза к импульсу силы $P_{\text{кн}}$ без дульного тормоза в периоде последействия газов:

$$\varkappa = \frac{I_{\text{дт}}}{I} = \frac{\int_0^{\tau} P_{\text{кн дт}}\, dt}{\int_0^{\tau} P_{\text{кн}}\, dt} = \frac{M_0 \Delta W_{\text{дт}}}{M_0 \Delta W} = \frac{\Delta W_{\text{дт}}}{\Delta W}. \qquad (12.37)$$

Указанное отношение справедливо, так как постановка дульного тормоза практически не изменяет время периода последействия τ. Как отмечалось ранее, в зависимости от величины ξ приращение скорости отката $\Delta W_{\text{дт}} \gtrless 0$. Следовательно, из выражения

(12.37) может быть $I_{дт} \gtrless 0$ и $\chi \gtrless 0$ (рис. 12.12). Подставив в выражение (12.37) закон изменения сил $P_{кн\,дт}$ и $P_{кн}$, будем иметь

$$\chi = \frac{I_{дт}}{I} = \frac{\int_0^{\tau} P_{д\,дт}\, e^{-\frac{t}{b}}\, dt}{\int_0^{\tau} P_д e^{-\frac{t}{b}}\, dt} = \frac{P_{д\,дт}}{P_д},$$

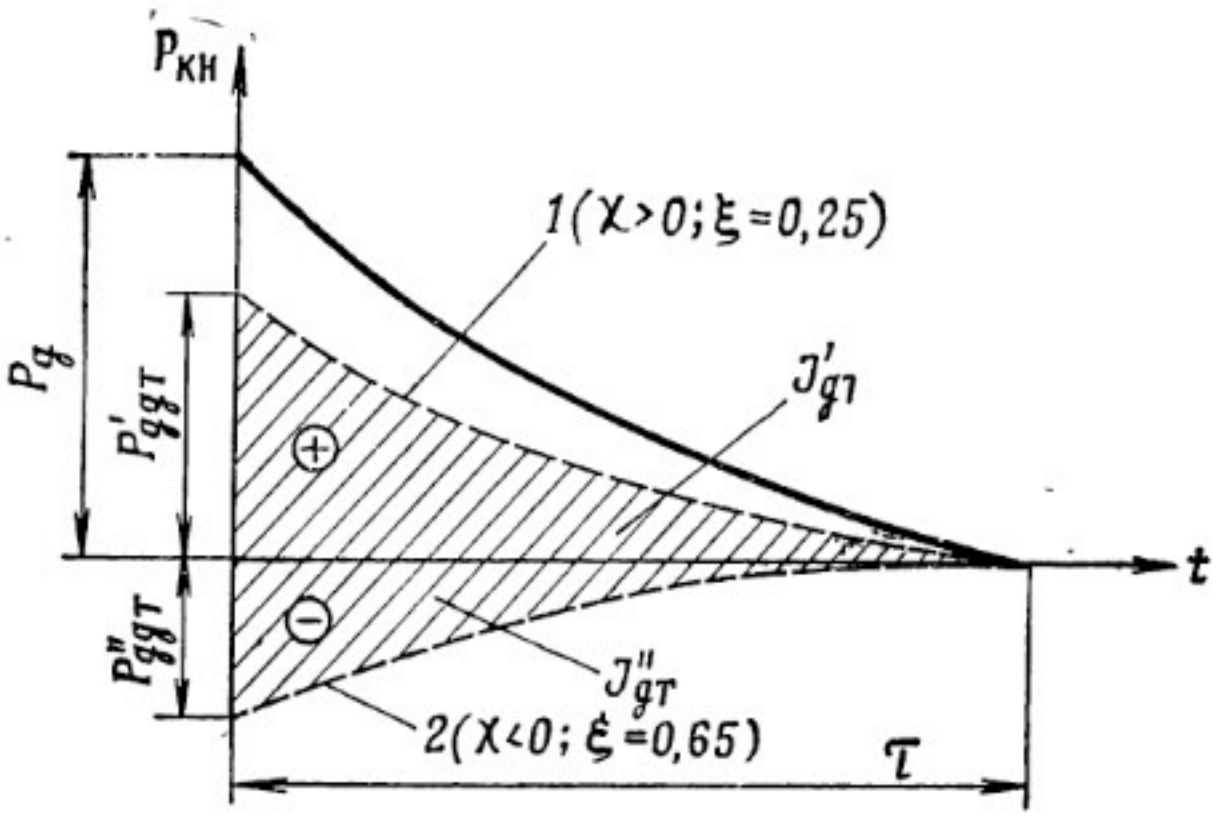


Рис. 12.12. График сил $P_{кн}$ и $P_{кндт}$ во втором периоде

откуда

$$P_{д\,дт} = \chi P_д. \tag{12.38}$$

Для получения скорости $W_{дт}$ и пути $L_{дт}$ свободного отката во втором периоде при наличии дульного тормоза достаточно в формулах (12.23) и (12.25) заменить $P_д$ на $P_{д\,дт}$. С учетом зависимости (12.38) формулы для элементов свободного отката примут вид

$$\left.\begin{aligned} W_{дт} &= W_д + \frac{\chi P_д}{M_0}\left(1 - e^{-\frac{t}{b}}\right); \\ L_{дт} &= L_д + W_д t + \frac{b\chi P_д}{M_0}\left[t - b\left(1 - e^{-\frac{t}{b}}\right)\right], \end{aligned}\right\} \tag{12.39}$$

где χ подставляется со своим знаком. К этому собственно и сводится учет влияния дульного тормоза на свободный откат. Величину χ вычисляют из выражения (12.37):

$$\chi = \frac{\Delta W_{дт}}{\Delta W} = \frac{W_{\tau\,дт} - W_д}{W_{max} - W_д},$$

или

$$\chi = \frac{W_{max}\sqrt{1-\xi} - W_д}{W_{max} - W_д}. \tag{12.40}$$

Для вычисления $\varkappa$ часто пользуются другой формулой, для чего в выражение (12.40) подставляют значения $W_{\max}$ и $W_д$ (зависимости 12.29 и 12.17):

$$\varkappa = \frac{\sqrt{1-\xi}\,(q+\beta\omega)-(q+0{,}5\omega)}{(\beta-0{,}5)\,\omega}. \qquad (12.41)$$

Ранее мы рассмотрели, как при известной энергетической характеристике ξ и с помощью импульсной характеристики $\varkappa$ можно

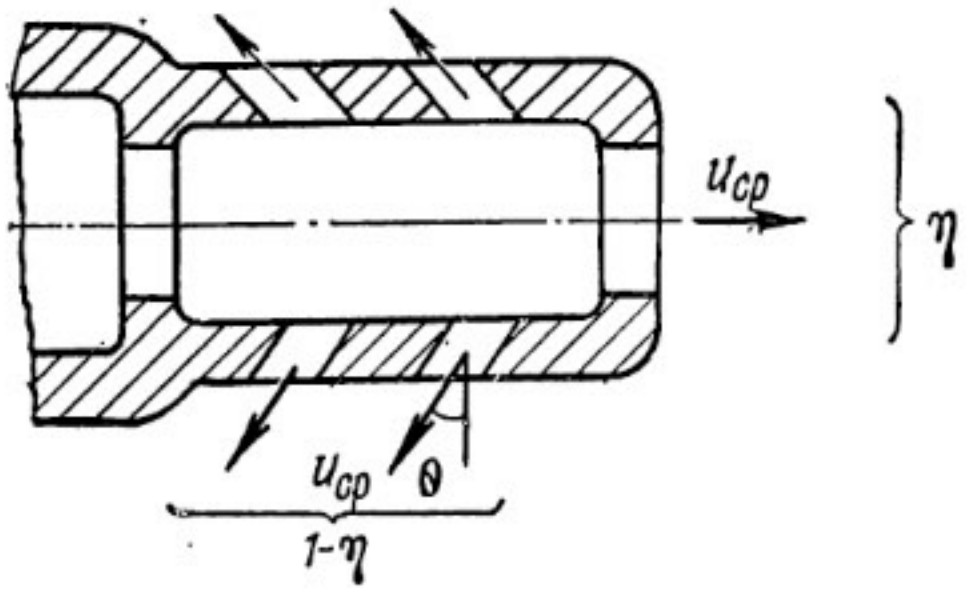


Рис. 12.13. Схема истечения газов через окна дульного тормоза

учесть влияние дульного тормоза на скорость и путь свободного отката.

Для проектирования дульного тормоза необходимо иметь связь между энергетической характеристикой ξ и его конструктивными размерами. Эта связь осуществляется с помощью конструктивной характеристики α.

Допустим, что пороховые газы истекают через осевое и боковые окна дульного тормоза с одинаковой скоростью $u_{ср}$. В этом случае, если через осевое окно истечет относительное количество газов η, то через боковые окна истечет относительное количество газов, равное $1-\eta$ (рис. 12.13).

Запишем уравнение количества движения изолированной системы откатные части — заряд — снаряд для конца периода последействия:

$$M_0 W_{\tau дт} - q v_0 - \eta\omega u_{ср} + (1-\eta)\,\omega u_{ср}\sin\theta = 0,$$

или

$$M_0 W_{\tau дт} - q v_0 - \omega u_{ср}\,[\eta - (1-\eta)\sin\theta] = 0. \qquad (12.42)$$

Обозначив через

$$\alpha = \eta - (1-\eta)\sin\theta, \qquad (12.43)$$

из выражения (12.42) получим

$$W_{\tau дт} = \frac{q + \omega\dfrac{u_{ср}}{v_0}\alpha}{M_0} v_0.$$

Тогда по аналогии с выражением (12.29) можно записать:

$$W_{\tau\,дт} = \frac{q + \beta_{дт}\omega}{M_0} v_0, \qquad (12.44)$$

где $\beta_{дт} = \frac{u_{ср}}{v_0}\alpha = \beta\alpha$ — коэффициент действия пороховых газов при наличии дульного тормоза.

Выражение для $\beta_{дт}$ найдем из следующих соображений, используя ранее полученные зависимости.

Так как

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{M_0} v_0$$

и

$$W_{\tau\,дт} = W_{max}\sqrt{1-\xi} = \frac{q + \beta_{дт}\omega}{M_0} v_0,$$

то

$$\frac{q + \beta\omega}{M_0} v_0 \sqrt{1-\xi} = \frac{q + \beta_{дт}\omega}{M_0} v_0.$$

Откуда

$$\beta_{дт} = \frac{(q + \beta\omega)\sqrt{1-\xi} - q}{\omega}. \qquad (12.45)$$

Таким образом, зная коэффициент эффективности дульного тормоза ξ, можно рассчитать $\beta_{дт}$ и затем конструктивную характеристику

$$\alpha = \frac{\beta_{дт}}{\beta}. \qquad (12.46)$$

С другой стороны, геометрическая характеристика α из выражения (12.43) является функцией геометрических величин $\alpha = f(\Theta, S_0, S_б)$, так как относительное количество газов η зависит от соотношения площадей осевого S_0 и боковых $S_б$ окон.

Полученные зависимости являются основой для проектирования дульного тормоза.

§ 12.4. ТОРМОЖЕННЫЙ ОТКАТ

Расчет торможенного отката заключается в определении действительной скорости $V = f(t)$ и пути $X = f(t)$ откатных частей. Движение откатных частей при торможенном откате рассматривается по тем же периодам, как и при свободном откате.

В первом и втором периодах дифференциальное уравнение движения откатных частей имеет вид

$$M_0 \frac{dV}{dt} = P_{кн} - R, \qquad (12.47)$$

в третьем $M_0 \frac{dV}{dt} = -R$, так как $P_{кн}=0$. Для определения скорости отката проинтегрируем уравнение (12.47):

$$\int_{V_0}^{V} dV = \frac{1}{M_0} \int_0^t P_{кн}\, dt - \frac{1}{M_0} \int_0^t R\, dt.$$

Так как по зависимостям свободного отката

$$\frac{1}{M_0} \int_0^t P_{кн} dt = \int_{W_0}^{W} dW = W - W_0,$$

то

$$V = W - (W_0 - V_0) - \frac{1}{M_0} \int_0^t R\, dt. \qquad (12.48)$$

Имея в виду, что $dx = V dt$:

$$\int_{X_0}^{X} dX = \int_0^t V\, dt$$

или

$$\int_{X_0}^{X} dX = \int_0^t W\, dt - \int_0^t (W_0 - V_0)\, dt - \frac{1}{M_0} \int_0^t \int_0^t R\, dt\, dt.$$

Так как

$$\int_0^t W\, dt = \int_{L_0}^{L} dL - L - L_0,$$

то

$$X - X_0 = L - L_0 - (W_0 - V_0)\, t - \frac{1}{M_0} \int_0^t \int_0^t R\, dt\, dt,$$

откуда

$$X = L - (L_0 - X_0) - (W_0 - V_0)\, t - \frac{1}{M_0} \int_0^t \int_0^t R\, dt\, dt. \qquad (12.49)$$

В начале первого периода $W_0 = V_0 = 0$ и $L_0 = X_0 = 0$; тогда для первого периода выражения (12.48) и (12.49) примут вид

$$\left.\begin{aligned} V &= W - \frac{1}{M_0} \int_0^t R\, dt; \\ X &= L - \frac{1}{M_0} \int_0^t \int_0^t R\, dt\, dt. \end{aligned}\right\} \qquad (12.50)$$

В начале второго периода $W_0 = W_д$, $V_0 = V_д$, $L_0 = L_д$ и $X_0 = X_д$; тогда для второго периода будем иметь

$$\left.\begin{aligned} V &= W - (W_д - V_д) - \frac{1}{M_0}\int_0^t R\,dt; \\ X &= L - (L_д - X_д) - (W_д - V_д)\,t - \frac{1}{M_0}\int_0^t\int_0^t R\,dt\,dt. \end{aligned}\right\} \qquad (12.51)$$

Полученные выражения (12.50) и (12.51) называются формулами перехода от элементов свободного отката к элементам тор-

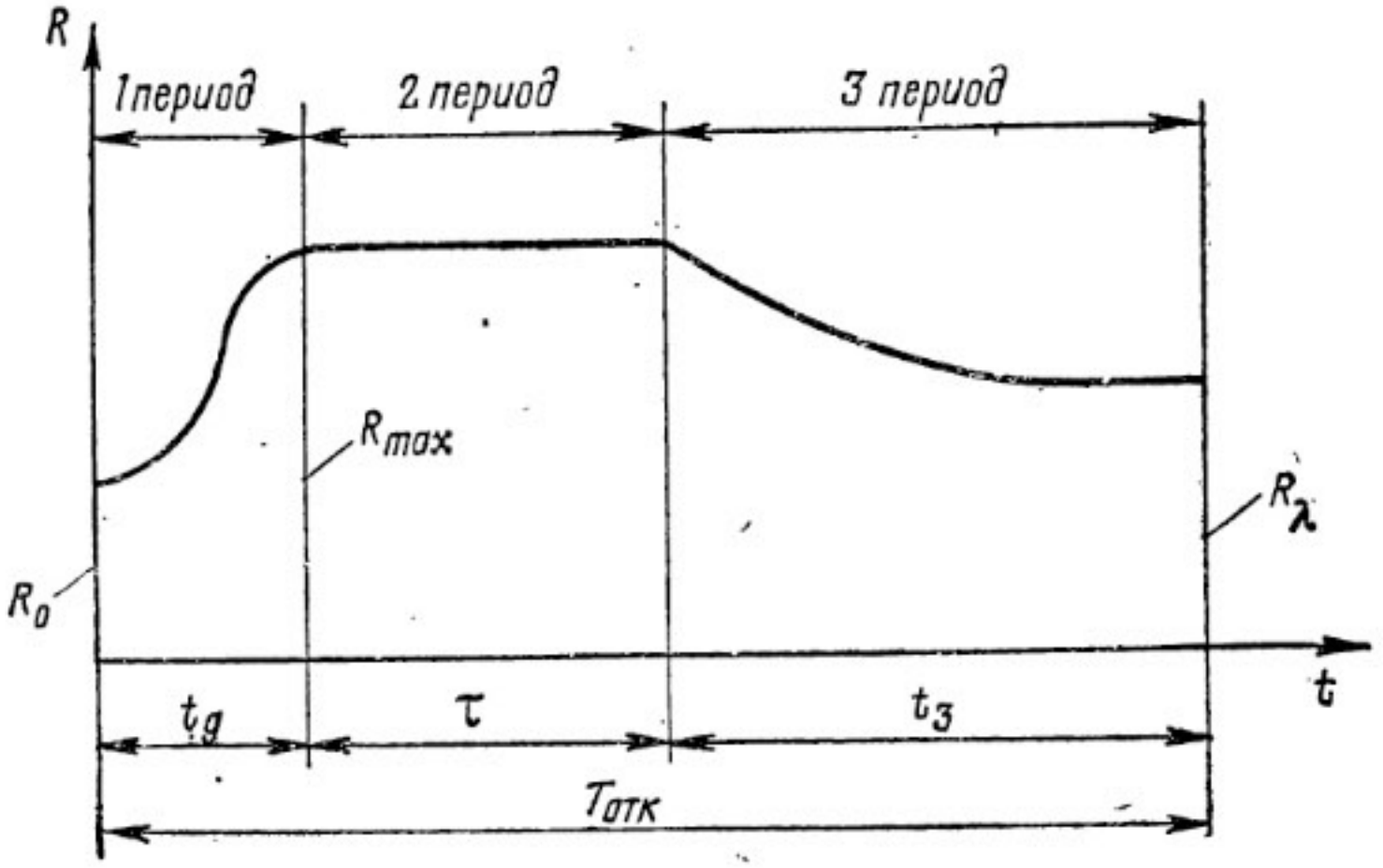


Рис. 12.14. График силы $R = f(t)$

моженного отката. Для получения расчетных формул необходимо знать закон изменения силы сопротивления откату $R = f(t)$, которым обычно задаются. Выбранный закон зависит от конкретного типа орудия (полевого, зенитного, стационарного и т. д.).

Для полевых орудий закон $R = f(t)$ должен отвечать следующим основным требованиям:

— значение силы сопротивления откату на любом участке отката не должно превосходить значение $nR_{пр}$, полученное из условия устойчивости орудия (рис. 12.6);

— торможение должно быть плавным, а энергия откатных частей должна полностью поглощаться на заданной длине отката λ.

Наиболее полно физической сущности явления отвечает закон проф. Е. Л. Бравина, получивший поэтому широкое распространение (рис. 12.14). Закон удобен для интегрирования и позволяет применить для расчета элементов отката формулы перехода.

В первом периоде

$$R = R_0 + (R_{max} - R_0)\sin^2\frac{\pi}{2}\frac{t}{t_д}, \qquad (12.52)$$

поэтому закон носит краткое название «закона квадрата синуса».

Во втором периоде $R=R_{max}=\text{const}$. В третьем периоде $R=f(X)$ изменяется линейно от R_{max} до $R_л$ ($R=f(t)$ имеет криволинейную зависимость).

Первый период. Для расчета элементов торможенного отката в этом периоде закон (12.52) приводят к более удобному для интегрирования виду. Заменив

$$\sin^2\frac{\pi}{2}\frac{t}{t_д}=\frac{1}{2}\left(1-\cos\pi\frac{t}{t_д}\right)$$

и обозначив через

$$к=\frac{\pi}{t_д},\quad A=\frac{R_{max}+R_0}{2},\quad B=\frac{R_{max}-R_0}{2},$$

получим

$$R=A-B\cos кt. \tag{12.53}$$

После подстановки R в формулы перехода (12.50) получим

$$V=W-\frac{1}{M_0}\int_0^t(A-B\cos кt)\,dt;$$

$$X=L-\frac{1}{M_0}\int_0^t\int_0^t(A-B\cos кt)\,dt\,dt.$$

Путем интегрирования находим искомые величины:

$$V=W-\frac{1}{M_0}\left(At-\frac{B}{к}\sin кt\right); \tag{12.54}$$

$$X=L-\frac{1}{M_0}\left[\frac{At^2}{2}-\frac{B}{к^2}(1-\cos кt)\right]. \tag{12.55}$$

В конце периода $t=t_д$, $V=V_д$, $W=W_д$, $X=X_д$ и $L=L_д$;

$$\sin к t_д=\sin\frac{\pi}{t_д}t_д=0;$$

$$\cos кt_д=\cos\frac{\pi}{t_д}t_д=-1.$$

После подстановки этих значений в формулы (12.54) и (12.55) будем иметь:

$$V_д=W_д-\frac{R_{max}+R_0}{2M_0}t_д; \tag{12.56}$$

$$X_д=L_д-\frac{1}{M_0}\left(\frac{R_{max}+R_0}{4}-\frac{R_{max}-R_0}{\pi^2}\right)t_д^2. \tag{12.57}$$

Если принять $\pi^2\approx 10$, то

$$X_д=L_д-\frac{1}{M_0}(0{,}35R_0+0{,}15R_{max})\,t_д^2. \tag{12.58}$$

Для производства расчетов необходимо знать величины R_0 и R_{max}, которые выбираются из следующих соображений. В начальный момент времени, когда откатные части неподвижны, сила гидравлического тормоза отката будет равна нулю. Сила R_0 складывается в этом случае из следующих величин:

$$R_0 = \Pi_0 + R_f - M_0 g \sin \varphi_{пр}, \qquad (12.59)$$

где Π_0 — начальная сила накатника;

R_f — сила трения;

$M_0 g \sin \varphi_{пр}$ — составляющая веса откатных частей, направленная вдоль оси канала ствола (рис. 12.15).

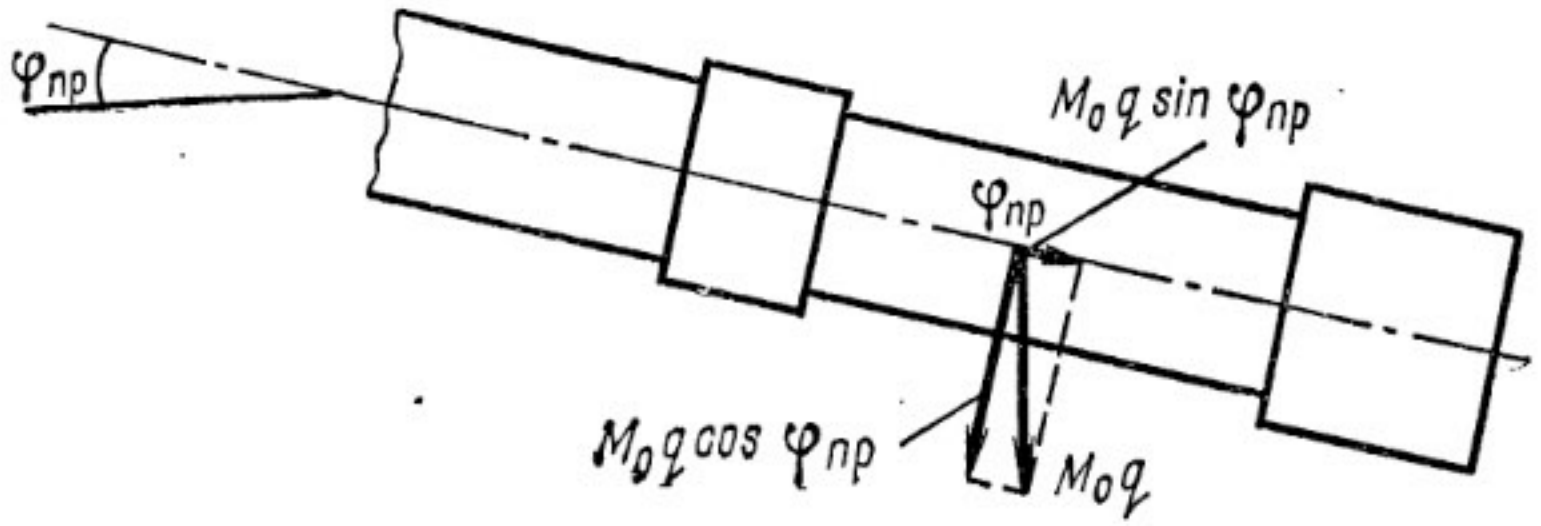


Рис. 12.15. Схема действия веса откатных частей

Начальная сила накатника, как будет показано ниже в гл. 13, определяется по формуле

$$\Pi_0 = 1{,}1 M_0 g (\sin \varphi_{max} + f \cos \varphi_{max} + \nu), \qquad (12.60)$$

где φ_{max} — наибольший угол возвышения;

$f = 0{,}16 \div 0{,}20$ — коэффициент трения на направляющих люльки;

$\nu = 0{,}2 \div 0{,}4$ — коэффициент учета трения в уплотнениях противооткатных устройств.

Значение коэффициента ν можно приближенно рассчитать по формуле проф. А. А. Толочкова

$$\nu = \frac{2}{d} + 0{,}15, \qquad (12.61)$$

где d — калибр, см.

Сила трения R_f является суммой сил

$$R_f = R_л + R_у,$$

где $R_л = f M_0 g \cos \varphi_{пр}$ — сила трения на направляющих люльки, пропорциональная нормальной составляющей веса (рис. 12.15);

$R_у = \nu M_0 g$ — сила трения в уплотнениях противооткатных устройств, которую принимают пропорциональной весу откатных частей.

Тогда

$$R_f = M_0 g\,(\cos\varphi_{\text{пр}} + \nu), \tag{12.62}$$

где f и ν имеют вышеуказанные числовые значения.

Обратим внимание, что формула (12.62) для определения силы трения R_f справедлива для любых углов возвышения ствола после подстановки в нее угла φ, при котором сила трения определяется. На практике $R_0 = (1{,}5 \div 1{,}8)\ M_0 g$.

Величина силы $R_{\max}$ рассчитывается исходя из условия устойчивости орудия (12.13) с учетом того, что при $t=\tau$, $X = X_\tau$, $P_{\text{кн}} = 0$

$$R_{\max} = nR_{\text{пр}} = ng\,\frac{M_6 D_0 - M_0 X_\tau \cos\varphi_{\text{пр}}}{h_{\text{пр}}}, \tag{12.63}$$

где M_6 — масса орудия в боевом положении.

Так как путь X_τ еще неизвестен, можно принимать $X_\tau \approx 0{,}8 L_\tau$.

Второй период. Во втором периоде отката $R = R_{\max} = \text{const}$. Тогда из формул перехода (12.51) после интегрирования следует, что

$$\left.\begin{aligned} V &= W - (W_{\text{д}} - V_{\text{д}}) - \frac{R_{\max} t}{M_0}; \\ X &= L - (L_{\text{д}} - X_{\text{д}}) - (W_{\text{д}} - V_{\text{д}})\,t - \frac{R_{\max} t^2}{2M_0}. \end{aligned}\right\} \tag{12.64}$$

Расчет элементов отката ведется в тех же точках, что и для свободного отката. В конце второго периода $t = \tau$, $V = V_\tau$, $W = W_\tau$, $X = X_\tau$ и $L = L_\tau$. Тогда

$$\left.\begin{aligned} V_\tau &= W_\tau - (W_{\text{д}} - V_{\text{д}}) - \frac{R_{\max}\tau}{M_0}; \\ X_\tau &= L_\tau - (L_{\text{д}} - X_{\text{д}}) - (W_{\text{д}} - V_{\text{д}})\,\tau - \frac{R_{\max}\tau^2}{2M_0}. \end{aligned}\right\} \tag{12.65}$$

Второй период отката характерен тем, что в этом периоде скорость торможенного отката может достигать максимального значения. Максимальное значение скорости $V_{\max}$ будет соответствовать моменту времени t_R, при котором $P_{\text{кн}} = R_{\max}$ (рис. 12.16). При $t < t_R$ $P_{\text{кн}} > R_{\max}$ — откат будет ускоренным. При $t > t_R$ $P_{\text{кн}} < R_{\max}$ — откат замедленный. С точки зрения математики в момент времени t_R

$$M_0 \frac{dV}{dt} = P_{\text{кн}} - R_{\max} = 0.$$

Следовательно, производная $\left(\frac{dV}{dt}\right)_{t=t_R} = 0$, что соответствует экстремуму.

Скорость и путь торможенного отката в момент времени t_R на основе зависимостей (12.64) будут равны:

$$V_{\max} = W_R - (W_д - V_д) - \frac{R_{\max} t_R}{M_o}; \qquad (12.66)$$

$$X_R = L_R - (L_д - X_д) - (W_д - V_д) t_R - \frac{R_{\max} t_R^2}{2M_o}. \qquad (12.67)$$

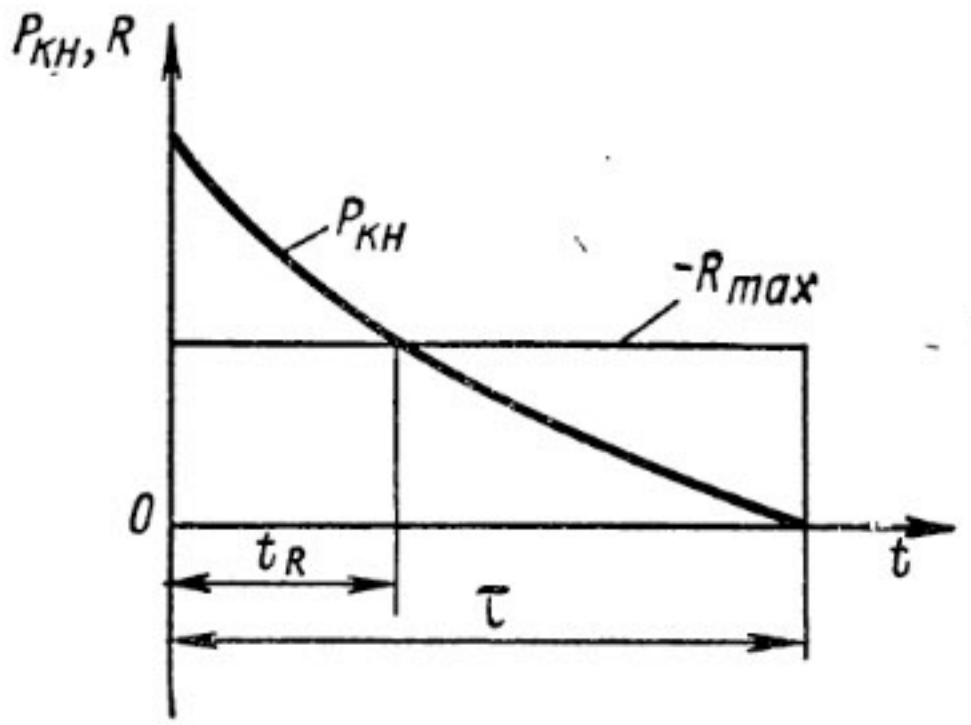


Рис. 12.16. График сил, действующих на откатные части во втором периоде

Для расчета $V_{\max}$ и X_R необходимо знать время t_R. Так как при $t=t_R$

$$P_{кн} = P_д e^{-\frac{t_R}{b}} = R_{\max},$$

то

$$t_R = b \ln \frac{P_д}{R_{\max}} = 2{,}3b \lg \frac{P_д}{R_{\max}}. \qquad (12.68)$$

Все вышесказанное о времени t_R справедливо при отсутствии дульного тормоза или при применении относительно малоэффективных дульных тормозов, у которых импульсная характеристика $\chi>0$. При применении дульных тормозов с большой эффективностью с $\chi<0$, как отмечалось ранее, сила $P_{кн\,дт}$ в начале второго периода меняет свое направление (знак) и уравнение движения откатных частей будет иметь вид

$$M_o \frac{dV}{dt} = -P_{кн\,дт} - R.$$

Это означает, что сразу после вылета снаряда из канала ствола откат будет замедленным.

Следовательно, при применении дульных тормозов с импульсной характеристикой $\chi<0$ максимальная скорость отката будет $V_{\max}=V_д$. У существующих орудий $V_{\max}=8\div15$ м/с.

Третий период. В третьем периоде на откатные части действует только сила сопротивления откату R. При этом $R=f(X)$ изменяется, как отмечалось ранее, по линейному закону от значения R_{max} до R_λ (рис. 12.17). Поэтому задача сводится к определению зависимости $V=f(X)$.

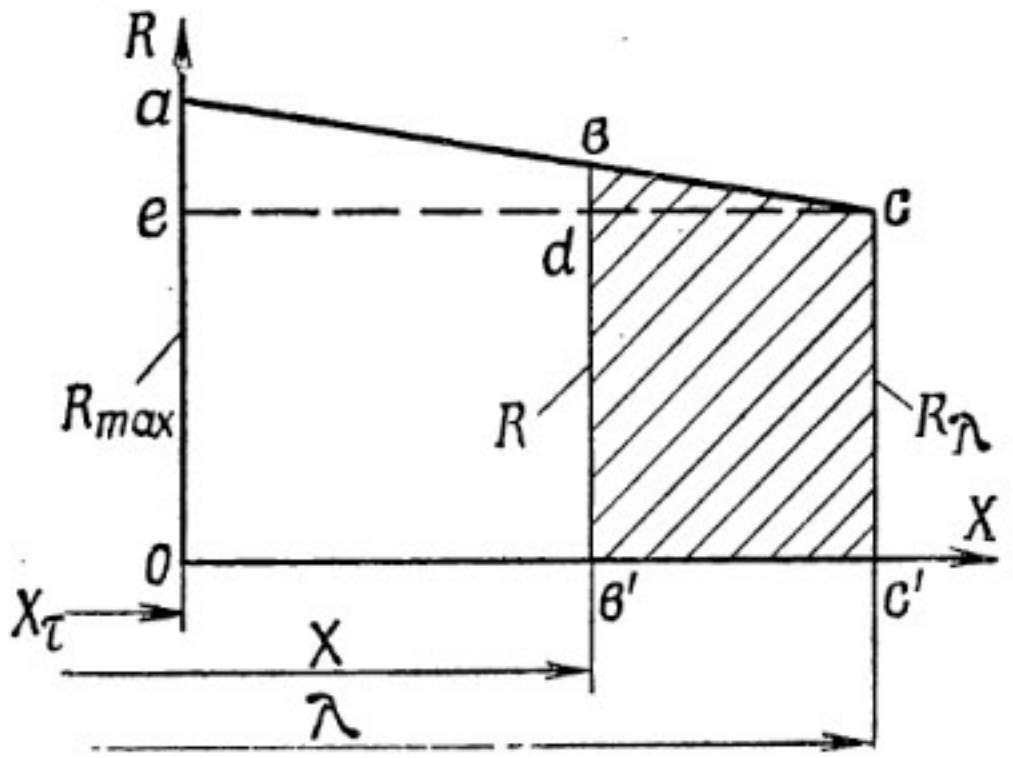


Рис. 12.17. График изменения силы $R=f(t)$ в третьем периоде

Вначале составим уравнение прямой $R=f(X)$, которое нам понадобится для определения скорости отката V. Из подобия треугольников (рис. 12.17) ace и bcd следует

$$\frac{bd}{ac}=\frac{dc}{ec}$$

или

$$\frac{R-R_\lambda}{R_{max}-R_\lambda}=\frac{\lambda-X}{\lambda-X_\tau}.$$

Отсюда

$$R=R_\lambda+\frac{R_{max}-R_\lambda}{\lambda-X_\tau}(\lambda-X). \qquad (12.69)$$

Скорость откатных частей найдем, применив к откатным частям теорему об изменении кинетической энергии. Когда откатные части пройдут путь X, их скорость будет равна V. В конце отката λ их скорость $V=0$. Работа силы R на пути $\lambda-X$ будет равна площади трапеции $bcc'b'$. Следовательно,

$$\frac{M_0V^2}{2}=\frac{R+R_\lambda}{2}(\lambda-X)$$

или

$$V^2=\frac{1}{M_0}(R+R_\lambda)(\lambda-X). \qquad (12.70)$$

Подставляя в выражение (12.70) значение силы R (12.69), получим квадрат скорости отката

$$V^2 = \frac{1}{M_0}\left[2R_\lambda + \frac{R_{max} - R_\lambda}{\lambda - X_\tau}(\lambda - X)\right](\lambda - X). \qquad (12.71)$$

Квадрат скорости определяется при расчетах через интервал пути $\Delta X = 50 \div 100$ мм. Однако в формуле (12.71) неизвестна длина отката λ, которую определяют, также применяя к откатным частям теорему об изменении кинетической энергии на пути $\lambda - X_\tau$. При $X = X_\tau$ $V = V_\tau$, а при $X = \lambda$ $V = 0$. Работа силы R, затраченная на изменение кинетической энергии, равна площади трапеции *acc'0*. Следовательно,

$$\frac{M_0 V_\tau^2}{2} = \frac{R_{max} + R_\lambda}{2}(\lambda - X_\tau),$$

откуда

$$\lambda = \frac{M_0 V_\tau^2}{R_{max} + R_\lambda} + X_\tau. \qquad (12.72)$$

Из условия устойчивости орудия

$$R_{max} = ng\,\frac{M_б D_0 - M_0 X_\tau \cos\varphi_{пр}}{h_{пр}}$$

и

$$R_\lambda = ng\,\frac{M_б D_0 - M_0 \lambda \cos\varphi_{пр}}{h_{пр}}.$$

Подставляя значения R_{max} и R_λ в выражение (12.72) и преобразуя относительно λ, получаем

$$A\lambda^2 - B\lambda + C = 0, \qquad (12.73)$$

где

$$A = M_0 g \cos\varphi_{пр};$$
$$B = 2M_б g D_0;$$
$$C = \frac{h_{пр}}{n} M_0 V_\tau^2 - AX_\tau^2 + BV_\tau.$$

Очевидно, что

$$\lambda = \frac{B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}. \qquad (12.74)$$

Продолжительность третьего периода t_3 определяем из уравнения изменения количества движения откатных частей:

$$M_0 V_\tau = \int_0^{t_3} R\,dt \approx R_{ср} t_3,$$

где

$$R_{ср} = \frac{R_{max} + R_{\lambda}}{2}.$$

Отсюда продолжительность третьего периода

$$t_3 = \frac{2M_0 V_{\tau}}{R_{max} + R_{\lambda}}. \qquad (12.75)$$

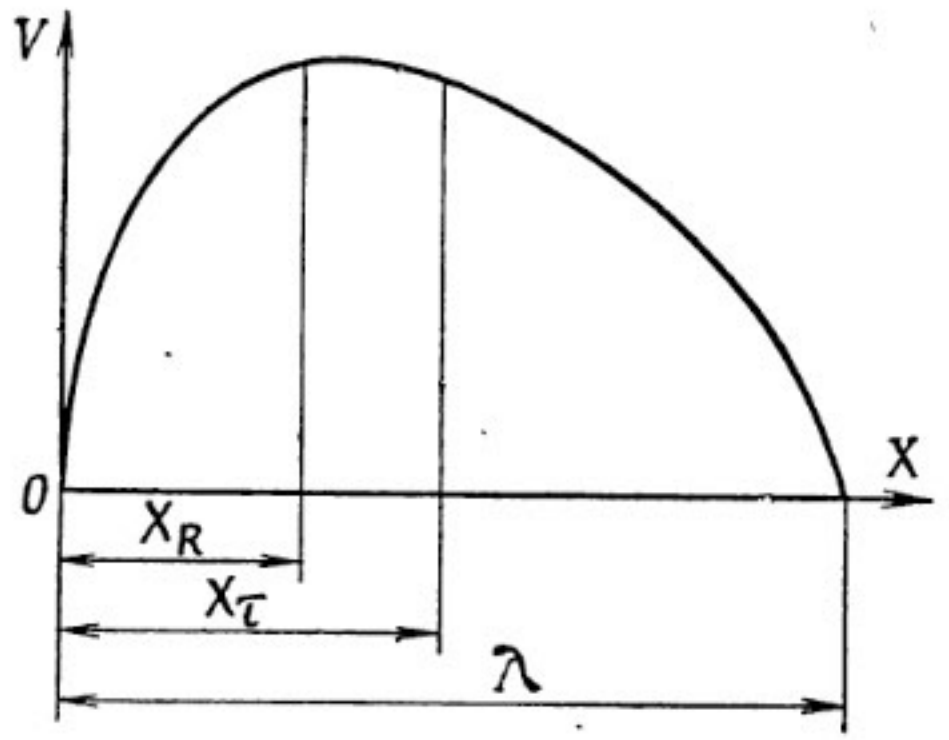


Рис. 12.18. График скорости отката $V=f(X)$

Полное время отката

$$T_{отк} = t_д + \tau + t_3. \qquad (12.76)$$

В заключение приведем примерный график изменения скорости откатных частей при выстреле (рис. 12.18).

§ 12.5. УСТОЙЧИВОСТЬ И НЕПОДВИЖНОСТЬ ОРУДИЯ ПРИ НАКАТЕ

После отката благодаря энергии, аккумулированной накатником, начинается накат откатных частей в исходное положение. Расчет наката, как будет показано ниже, ведется при угле возвышения ствола $\varphi=0$. Поэтому устойчивость и неподвижность орудия при накате будем рассматривать, полагая угол возвышения ствола $\varphi=0$.

При накате на лафет будут действовать следующие силы (рис. 12.19):

r — сила, равная и противоположная по направлению равнодействующей всех сил, приложенных к откатным частям;

$Q_б$ — вес орудия в боевом положении;

$N_{лб}$, $T_{лб}$, $N_{хб}$, $T_{хб}$ — составляющие реакции грунта.

Сила r равна сумме сил: силы накатника, вызывающей накат, силы тормоза отката и силы трения, тормозящих откатные части. В зависимости от их соотношения равнодействующая, приложенная к откатным частям, может быть $r \gtrless 0$.

1. При $r>0$ (на рис. 12.20 показана штрихами) накат будет ускоренным. В этом случае сила r приложена к лафету в точке A в противоположном направлении. Это направление совпадает с направлением силы сопротивления R при откате. Так как $r<R$, то, естественно, при ускоренном накате устойчивость орудия нарушена не будет.

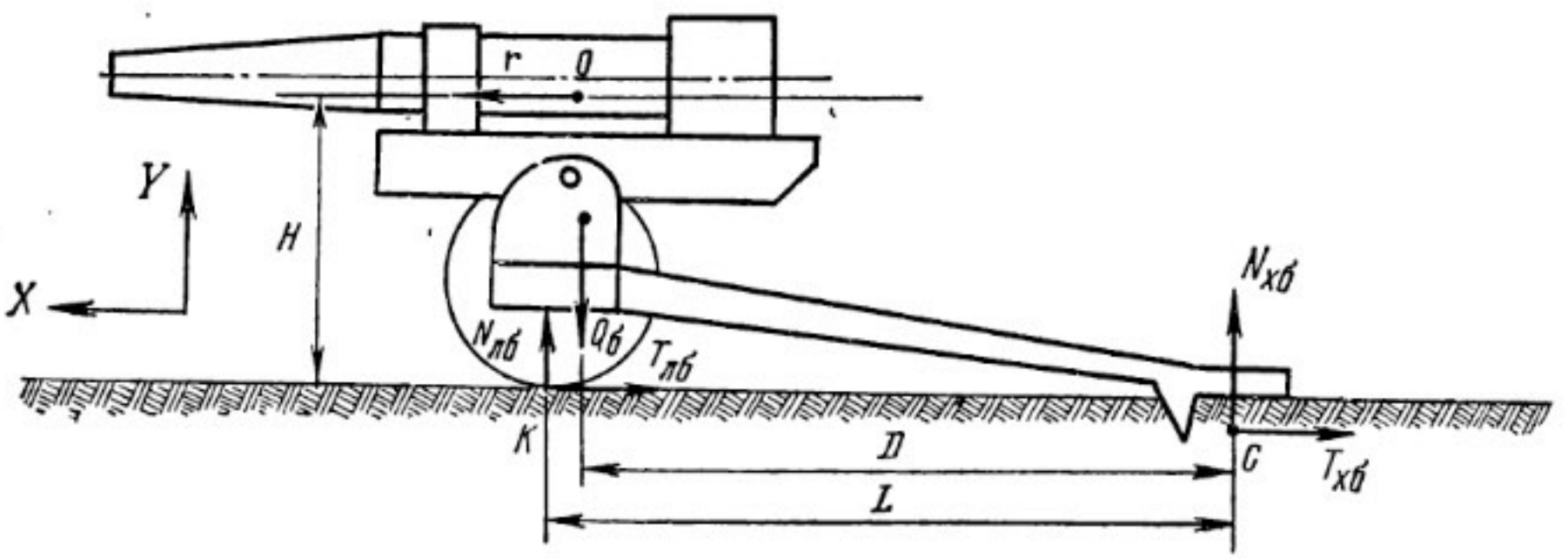


Рис. 12.19. Схема сил, действующих на орудие при накате

2. При $r=0$ накат будет равномерным и орудие будет находиться в покое.

3. При $r<0$ (показана на рис. 12.20 сплошной линией) накат будет замедленным. В этом случае сила r, воздействуя на лафет, будет стремиться переместить орудие вперед вдоль оси X. Кроме

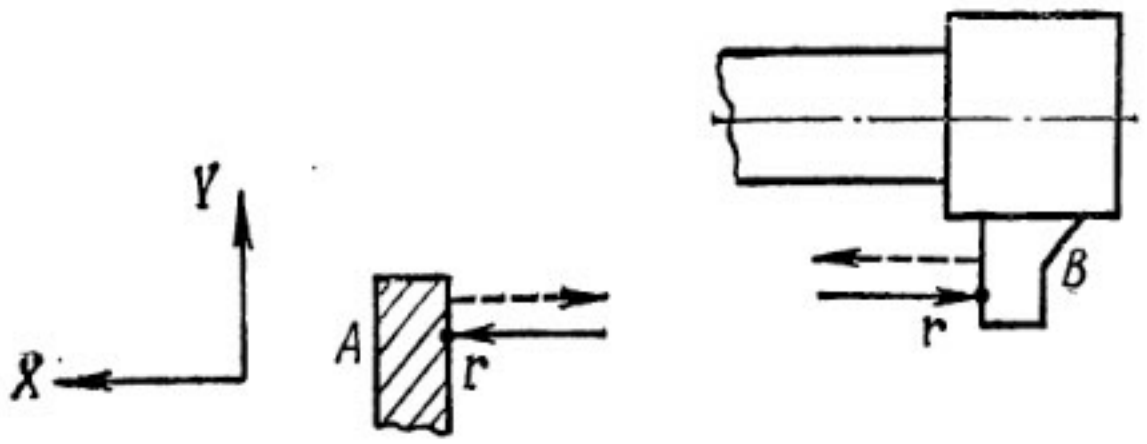


Рис. 12.20. Схема действия силы r на откатные части и лафет

того, возникает вращающий момент, стремящийся повернуть орудие вокруг точки K (рис. 12.19) против хода часовой стрелки. Поэтому неподвижность и устойчивость орудия при накате рассматриваются только в периоды замедленного наката.

Из уравнения движения откатных частей следует, что сила r равна силе инерции откатных частей $I_н$ и поэтому приложена к их центру тяжести O:

$$I_н = M_o \frac{du}{dt} = r,$$

где u — скорость наката.

Такой же вывод можно получить путем рассуждений, аналогичных изложенным в § 12.1, где речь шла о точке приложения силы сопротивления откату R.

Уравнения равновесия артиллерийского орудия при накате будут иметь вид

$$\left.\begin{aligned} \Sigma X &= r - T_{лб} - T_{хб} = 0; \\ \Sigma Y &= -Q_б + N_{лб} + N_{хб} = 0; \\ \Sigma M_к &= rH - Q_б(L - D) + N_{хб}L = 0. \end{aligned}\right\} \qquad (12.77)$$

Из них значения реакций равны

$$T_{лб} + T_{хб} = r; \qquad (12.78)$$

$$N_{хб} = \frac{Q_б(L - D) - rH}{L}; \qquad (12.79)$$

$$N_{лб} = Q_б - N_{хб}. \qquad (12.80)$$

По аналогии с откатом под неподвижностью орудия при накате понимают отсутствие его горизонтальных перемещений вдоль оси X, т. е. отсутствие выката.

Условие неподвижности определяется выражением (12.78). Для отсутствия выката необходимо, чтобы

$$r \leqslant T_{лб} + T_{хб}.$$

Значения реакций $T_{лб}$ и $T_{хб}$ не могут быть больше сил трения в опорах, т. е. $T_{лб} \leq f_{лб}N_{лб}$ и $T_{хб} = f_{хб}N_{хб}$, где $f_{хб} = 0{,}07 \div 0{,}1$, $f_{хб} = 0{,}25 \div 0{,}3$ — коэффициенты трения в опорах. Отсюда предельное значение равнодействующей $r_{пр1}$, вытекающей из условия неподвижности орудия при накате, имеет вид

$$r_{пр\,1} \leqslant f_{лб}N_{лб} + f_{хб}N_{хб}. \qquad (12.81)$$

Неподвижность орудия обеспечивается соответствующей конструкцией сошников и правильной установкой орудия в боевом положении. Для обеспечения неподвижности при накате отдельные орудия имеют забивные сошники и цепи с растяжками.

Условие устойчивости орудия при накате заключается в отсутствии поворота орудия вокруг точки K (рис. 12.19), т. е. отсутствии «клевка». Поворот будет отсутствовать, если $N_{хб} \geqslant 0$, т. е.

$$\frac{Q_б(L - D) - rH}{L} \geqslant 0$$

или

$$Q_б(L - D) - rH \geqslant 0. \qquad (12.82)$$

Величина плеча D, как и при откате, переменна и зависит от пути наката ξ. Рассматривая устойчивость орудия при откате, мы получили зависимость (12.8)

$$Q_б D = Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi.$$

Пути отката и наката связаны условием (рис. 12.21):

$$X + \xi = \lambda,$$

откуда $X = \lambda - \xi$.

С учетом этого из зависимости (12.8) при $\varphi = 0$ следует:

$$D = D_0 - \frac{Q_0}{Q_б}(\lambda - \xi). \qquad (12.83)$$

Подставляя значение D (12.83) в выражение (12.82), получим условие устойчивости орудия при накате:

$$Q_б L - Q_б D_0 + Q_0(\lambda - \xi) - rH \geqslant 0,$$

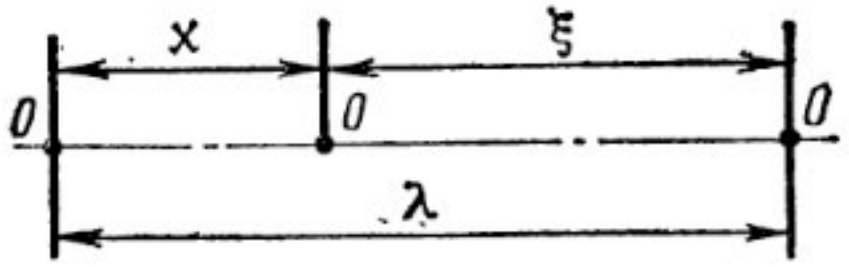


Рис. 12.21. Схема зависимости пути отката X и пути наката ξ

или в окончательном виде

$$Q_б(L - D_0) + Q_0(\lambda - \xi) \geqslant rH. \qquad (12.84)$$

Левая часть неравенства (12.84) представляет собой стабилизирующий момент при накате $M^H_{ст}$, правая — опрокидывающий момент $M^H_{опр}$.

Орудие будет устойчиво, если

$$M^H_{ст} \geqslant M^H_{опр}. \qquad (12.85)$$

Из полученного условия видно, что влияние величин $Q_б$, Q_0 и $H \approx H_0$ на устойчивость орудия при накате аналогично их влиянию на устойчивость при откате. Значения $Q_б$, Q_0, H, D_0 и λ выбираются, как правило, исходя из обеспечения устойчивости орудия не при накате, а при откате. Тогда влиять на устойчивость орудия при откате можно, либо увеличивая плечо $(L - D_0)$, либо уменьшая равнодействующую r.

Увеличение разности $(L - D_0)$ может быть достигнуто некоторыми конструктивными мерами, например применением жестких лобовых опор, расположенных впереди колес. Уменьшение равнодействующей r достигается выбором рациональной схемы наката.

Наибольшее значение r, при котором отсутствует «клевок» орудия при накате, называется вторым предельным значением равнодействующей $r_{пр2}$. Из условия устойчивости (12.84)

$$r_{пр\,2} = \frac{Q_б(L - D_0) + Q_0\lambda}{H} - \frac{Q_0}{H}\xi = a_1 - b_1\xi. \qquad (12.86)$$

Таким образом, $r_{пр2} = f(\xi)$ представляет собой уравнение прямой (рис. 12.22).

В начале наката $\xi=0$ и

$$r_{0\,\text{пр}\,2}=\frac{Q_6(L-D_0)+Q_0\lambda}{H}. \qquad (12.87)$$

В конце наката $\xi=\lambda$ и

$$r_{\lambda\,\text{пр}_2}=\frac{Q_6(L-D_0)}{H}. \qquad (12.88)$$

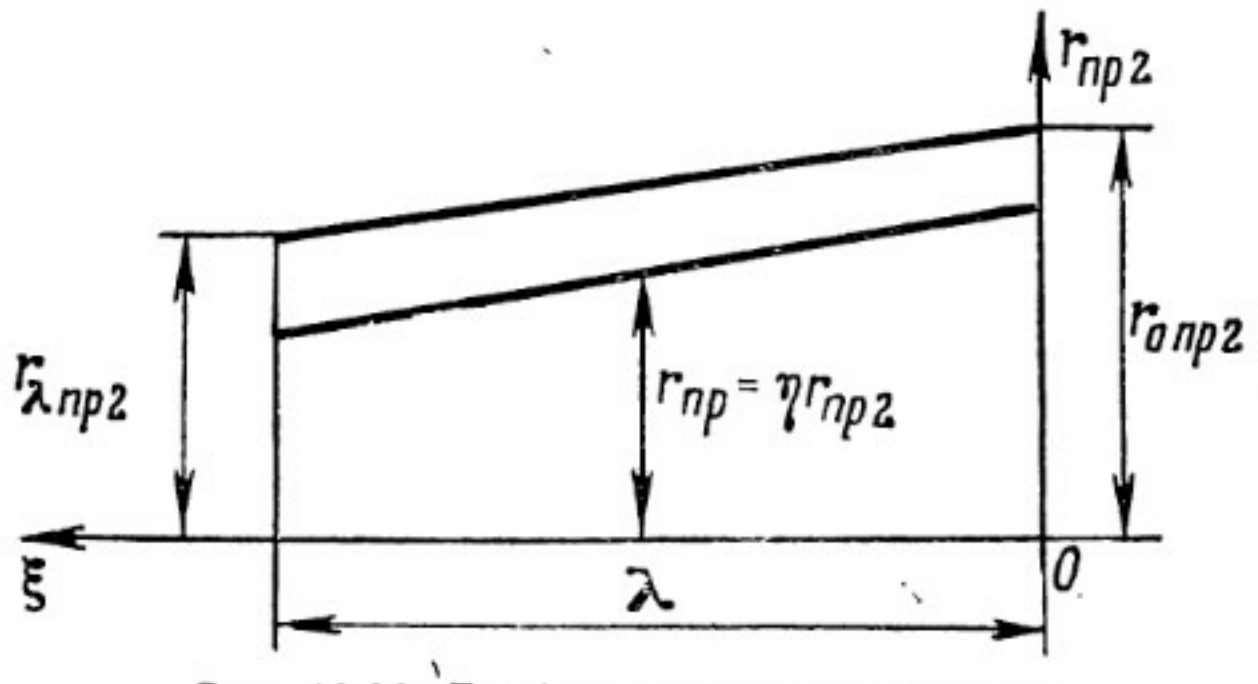


Рис. 12.22. График изменения силы $r_{\text{пр}}$

Проверочные расчеты показывают, что величина $r_{\text{пр}1}$, вычисленная из условия отсутствия выката, значительно меньше величины $r_{\text{пр}2}$, вычисленной из условия отсутствия «клевка». Поэтому при расчетах принимают

$$r_{\text{пр}}=\eta r_{\text{пр}\,2}, \qquad (12.89)$$

где $\eta=0{,}4\div0{,}6$ — для орудий среднего калибра с колесами, не тормозящимися при стрельбе;

$\eta=0{,}7\div0{,}9$ — для орудий с тормозящимися колесами или с жесткой лобовой опорой.

Подставив в выражение (12.89) значение $r_{\text{пр}2}$ из условия (12.86) и перейдя к массам, получим зависимость для предельного значения равнодействующей:

$$r_{\text{пр}}=\eta g\,\frac{M_6(L-D_0)+M_0(\lambda-\xi)}{H}. \qquad (12.90)$$

Однако и при этом условии некоторые орудия, ведущие стрельбу с колес, могут иметь небольшой выкат. Что касается выбора рациональной схемы и расчета наката, то эти вопросы будут изложены ниже.

ГЛАВА 13

ПРОТИВООТКАТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Противооткатные устройства предназначены для уменьшения сил, действующих при выстреле на лафет.

Впервые в мире противооткатные устройства (гидравлический тормоз отката и пружинный накатник) были созданы в 1872 г. талантливым русским инженером В. С. Барановским для 2,5-дюймовой скорострельной пушки.

Являясь упругой связью ствола с лафетом, противооткатные устройства при выстреле выполняют следующие функции:

— тормозят откатные части при откате и накате;

— возвращают откатные части в переднее (исходное) положение;

— удерживают откатные части в переднем положении при всех углах возвышения ствола $\varphi > 0$.

В соответствии с характером работы противооткатные устройства состоят из тормоза отката, тормоза наката и накатника. В отечественной артиллерии, как правило, тормоз отката и наката представляет собой один агрегат, называемый тормозом отката; накатник, выполняющий две последние функции, — другой агрегат. В иностранной артиллерии (американской, французской) тормоз отката, тормоз наката и накатник чаще объединяют в общую конструкцию, называемую тормозом отката — накатником.

Ранее отмечалось, что при откате ствол тормозится силой сопротивления откату

$$R = \Phi + \Pi + R_f - Q_0 \sin\varphi, \qquad (13.1)$$

где Φ — сила тормоза отката;

Π — сила накатника;

R_f — сила трения;

$Q_0 \sin\varphi$ — составляющая веса откатных частей.

На рис. 13.1 представлен график силы R и ее составляющих. Площадь ограничения кривой $R = f(X)$ равна работе силы R на пути λ и, следовательно, всей поглощенной энергии откатных частей. Площади, ограниченные кривыми слагаемых, показывают долю поглощенной ими энергии при откате. На практике силами

трения поглощается 3—5% энергии откатных частей. Накатником поглощается (аккумулируется) 15—20% энергии отката. Остальная часть энергии поглощается тормозом отката.

При накате энергия, аккумулированная в накатнике, снова превращается в энергию движения откатных частей. Сила, действующая на откатные части при накате, будет равна

$$r = П - \Phi_н - R'_f - Q_0 \sin\varphi, \qquad (13.2)$$

где $\Phi_н$ — сила тормоза отката при накате;

$R'_f = R_f$ — сила трения при накате, которую можно принять равной силе трения при откате.

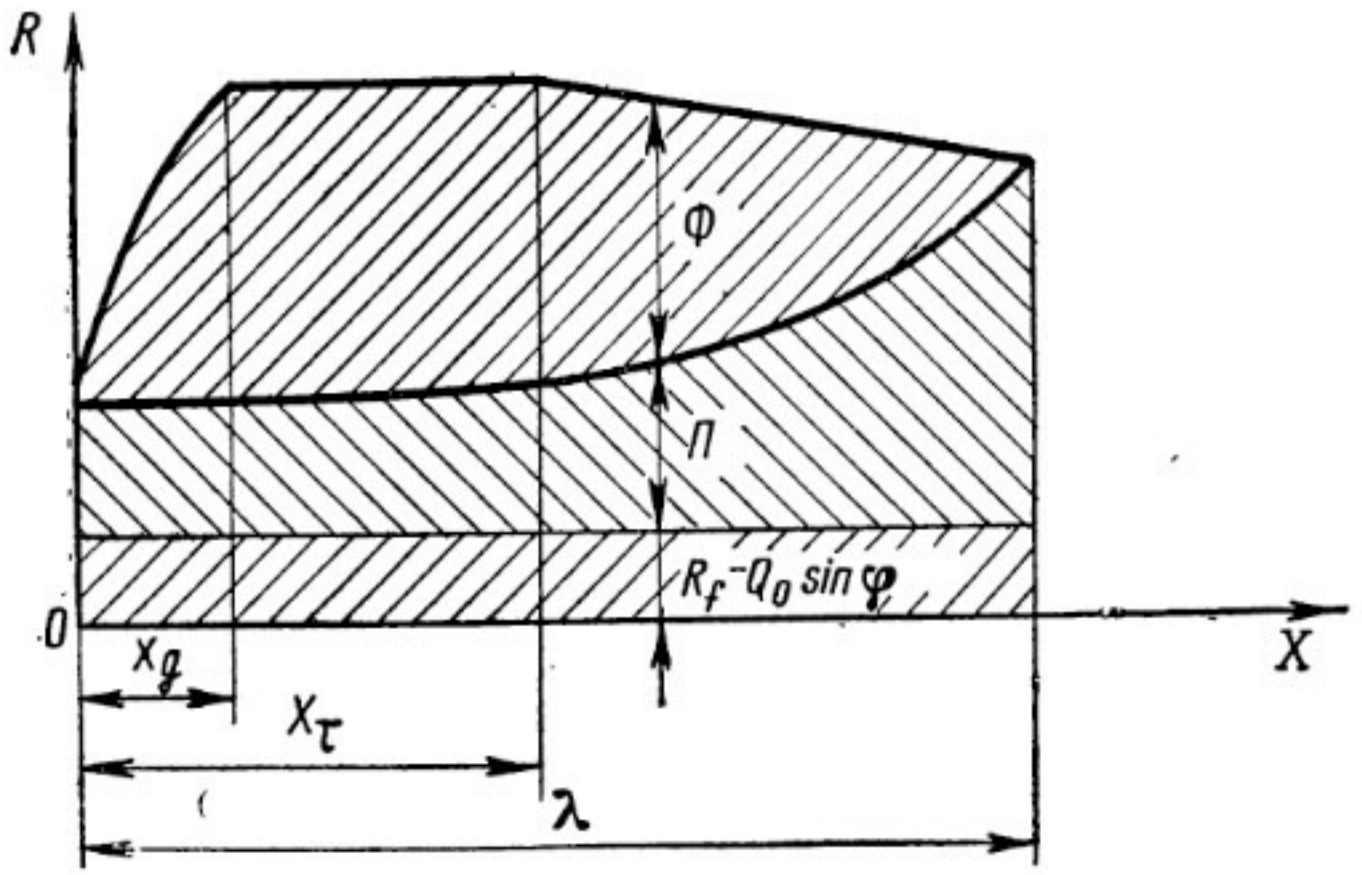


Рис. 13.1. График силы R и ее составляющих

Вся энергия, сообщаемая откатным частям накатником, поглощается опять же тормозом отката и силами трения (при отсутствии отбора энергии на приведение в действие каких-либо устройств).

Работа составляющей веса откатных частей за цикл откат — накат равна нулю, так как при откате ее направление совпадает с направлением движения, при накате противоположно.

Таким образом, за цикл откат — накат практически вся энергия, сообщаемая откатным частям силой $P_{кн}$, поглощается тормозом отката и силами трения и превращается в конечном итоге в тепло (некоторая часть энергии идет на нагрев накатника).

К противооткатным устройствам предъявляются следующие основные требования:

1. Надежность и безотказность действия при различных условиях эксплуатации (колебания температуры, изменения режимов огня и т. д.). Длина отката при этом должна оставаться в допустимых пределах.

2. Плавность действия.

3. Безопасность в обращении. С этой целью, например, противооткатные устройства орудий, у которых на походе ствол оттянут

назад, снабжаются механизмами взаимной замкнутости, исключающими производство выстрела при отсутствии надежной связи тормоза и накатника со стволом.

4. Простота конструкции и эксплуатации.

5. Возможность длительного хранения на складах и в войсковых частях.

§ 13.1. НАКАТНИКИ

Накатник служит для возвращения откатных частей артиллерийского орудия после выстрела в исходное положение и удержания их в этом положении при всех углах возвышения ствола. Как

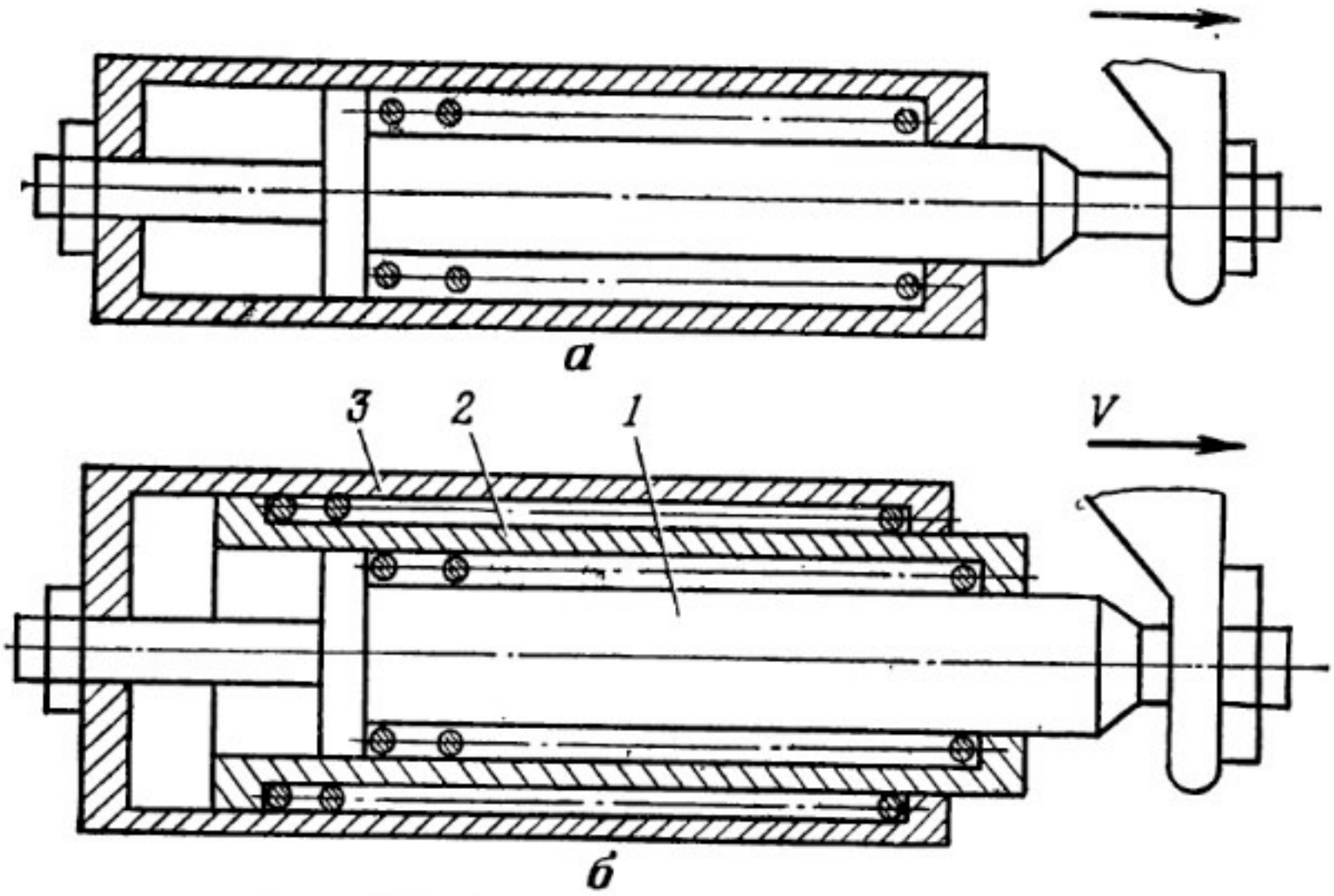


Рис. 13.2. Схемы пружинных накатников:

а — расположение пружин в одну колонку; *б* — телескопическое расположение пружин; *1* — цилиндр тормоза; *2* — подвижный цилиндр; *3* — люлька

отмечалось, накатник участвует в торможении отката, аккумулируя часть энергии, которая используется в дальнейшем для осуществления наката. Кроме того, аккумулированная накатником энергия может быть использована для автоматического открывания затвора или приведения в действие других автоматических устройств.

Аккумулирование необходимой для наката энергии осуществляется у накатников с помощью упругого элемента (рабочего тела), который при откате сжимается. После отката он разжимается, накатывая ствол в исходное положение. В зависимости от природы рабочего тела различают следующие типы накатников: пружинные, гидропневматические и пневматические.

У пружинных накатников пружины могут быть расположены либо в одну колонку (один ряд), либо телескопически. В первом случае пружины надеваются на цилиндр тормоза отката

(рис. 13.2, *а*) или на ствол. При телескопическом расположении (рис. 13.2, *б*) внутренняя пружина надевается на цилиндр тормоза *1*, наружная — на подвижный цилиндр *2*, перемещающийся в люльке *3*. Сжатие обеих пружин происходит одновременно. Действие на ствол телескопического накатника практически не отличается от однорядного. Основное его достоинство — малая длина, недостаток — большие поперечные размеры.

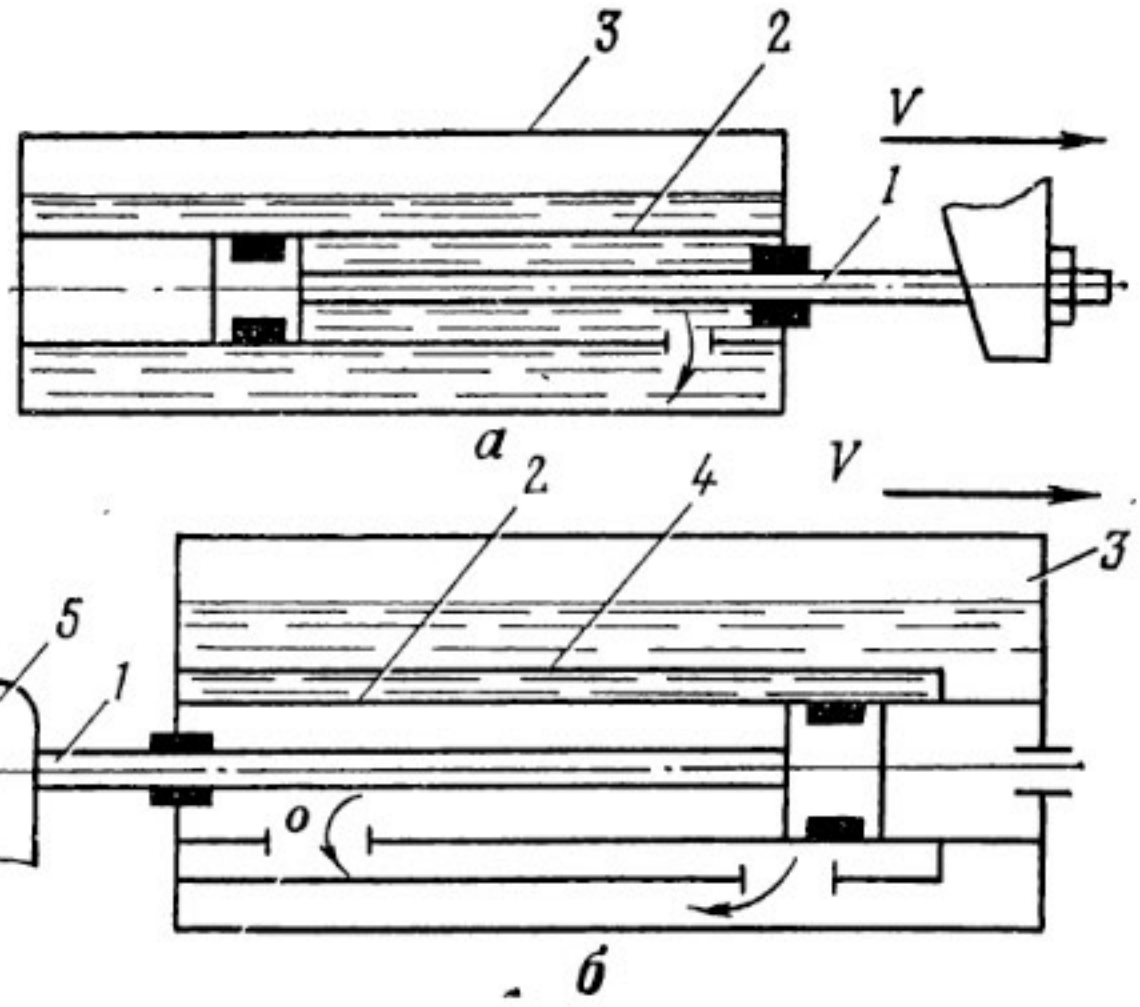


Рис. 13.3. Схемы гидропневматических накатников с совмещенными цилиндрами:

а — вместе со стволом откатывается шток с поршнем: *1* — шток с поршнем; *2* — рабочий цилиндр; *3* — наружный цилиндр; *б* — вместе со стволом откатываются цилиндры: *1* — шток с поршнем; *2* — рабочий цилиндр; *3* — наружный цилиндр; *4* — промежуточный цилиндр; *5* — люлька

Во всех случаях при большой длине пружины ее делают составной (из коротких пружин). Короткие пружины легче изготовлять, удобнее перевозить в ЗИП; в случае поломки заменяется не вся пружина, а часть ее. Для компенсации скручивающего момента, появляющегося при сжатии и передающегося на опорные детали, пружину составляют из частей правой и левой навивки, чередуя их по длине. Для устранения влияния скручивающего момента при применении одной пружины опорные детали могут снабжаться подшипниками качения или скольжения.

Основными достоинствами пружинных накатников являются:

— простота и компактность конструкции;

— нечувствительность силы накатника к изменению температуры окружающей среды;

— простота эксплуатации (не требует проверок перед стрельбой).

Главный недостаток этих накатников — значительное (непропорциональное) увеличение габаритов и веса пружин при увеличении силы накатника. Отсюда пружинные накатники применяют

в орудиях с относительно небольшим весом откатных частей (например, в орудиях малого калибра, горных и др.).

Гидропневматические накатники являются основным типом накатников для полевой артиллерии. У них сжатый газ (воздух или азот) является рабочим телом; жидкость (стеол М, веретенное масло) изолирует газ от уплотнений, т. е. является гидравлическим запором для газа, обеспечивая герметичность накатника. Накатник будет герметичен, если при любых углах возвышения (снижения) жидкость будет полностью покрывать все уплотнительные устройства. Для этого объем жидкости должен составлять 0,5—0,65 объема накатника.

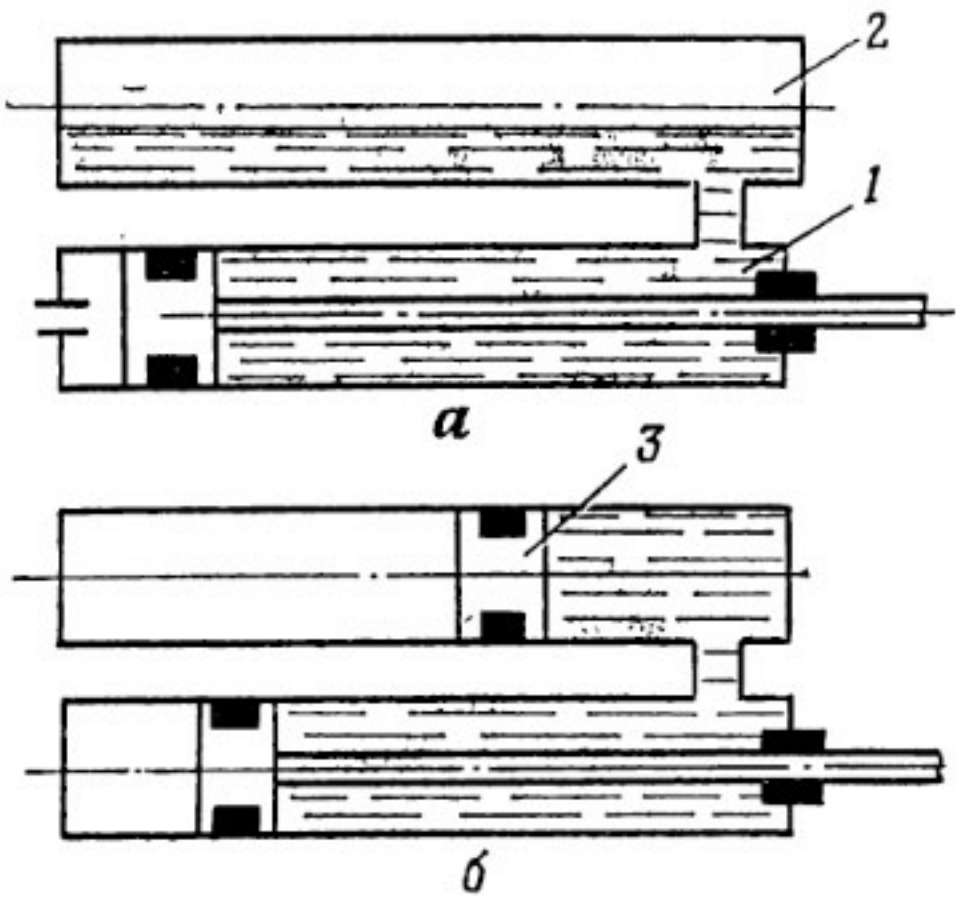


Рис. 13.4. Схемы гидропневматических накатников с разделенными цилиндрами:
а — без плавающего поршня; *б* — с плавающим поршнем; *1* — рабочий цилиндр; *2* — резервуар; *3* — плавающий поршень

Конструктивно гидропневматические накатники выполняются либо с совмещенными (рис. 13.3), либо с разделенными (рис. 13.4) цилиндрами.

Накатники (рис. 13.3, *а*), у которых вместе со стволом откатывается шток с поршнем *1*, имеют два цилиндра — рабочий *2* и наружный *3*. Для уменьшения количества жидкости, а следовательно, и габаритов накатника внутренний цилиндр располагают эксцентрично наружному, смещая его вниз.

Накатники (рис. 13.3, *б*), у которых для увеличения массы откатных частей откатываются цилиндры (шток с поршнем *1* закреплен в люльке *5*), имеют дополнительно третий промежуточный цилиндр *4*. Промежуточный цилиндр исключает проникновение сжатого воздуха через окно *О* к уплотнениям штока при больших углах возвышения (передняя часть люльки при этом поднимается вверх).

Накатник с разделенными цилиндрами (рис. 13.4, *а*) состоит из рабочего цилиндра *1* и резервуара *2*, которые сообщаются между собой. При этом резервуар в принципе может иметь любую форму, удобную для размещения в люльке. В цилиндрическом резервуаре жидкость иногда отделяют от газа с помощью плавающего поршня *3* (рис. 13.4, *б*). Если накатник заполнен воздухом, то наличие разделяющего поршня предотвращает растворение кислорода воздуха в жидкости, что снижает вероятность образования коррозии на деталях.

Накатники с разделенными цилиндрами применяются в настоящее время в орудиях сравнительно большой мощности (с тяже-

лыми откатными частями). Для таких орудий они могут оказаться более компактными и удобными для размещения на лафете по сравнению с другими конструкциями.

Необходимо отметить, что применение разделенных цилиндров изменяет характер нагрузок, действующих на рабочий цилиндр. На стенки отдельного рабочего цилиндра действует только внутреннее давление жидкости. У накатников с совмещенными цилиндрами на стенки рабочего цилиндра помимо внутреннего давления жидкости действует равное по величине наружное давление, которое в запоршневом пространстве ничем не компенсируется. Как известно, наружное давление является для тонкостенных цилиндров более опасным, так как может привести к потере устойчивости стенок при сохранении прочности от действия такого же внутреннего давления.

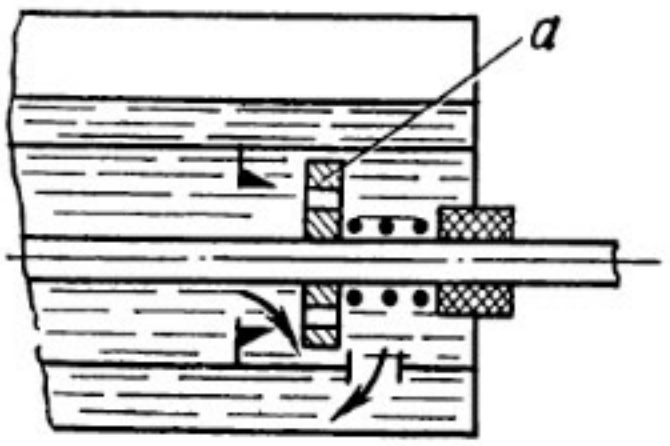


Рис. 13.5. Схема накатника с клапаном дополнительного торможения наката:
а — клапан

Основными достоинствами гидропневматических накатников являются компактность конструкции и малый вес (при относительно большом весе откатных частей), легкость регулировки давления, а следовательно, и силы накатника.

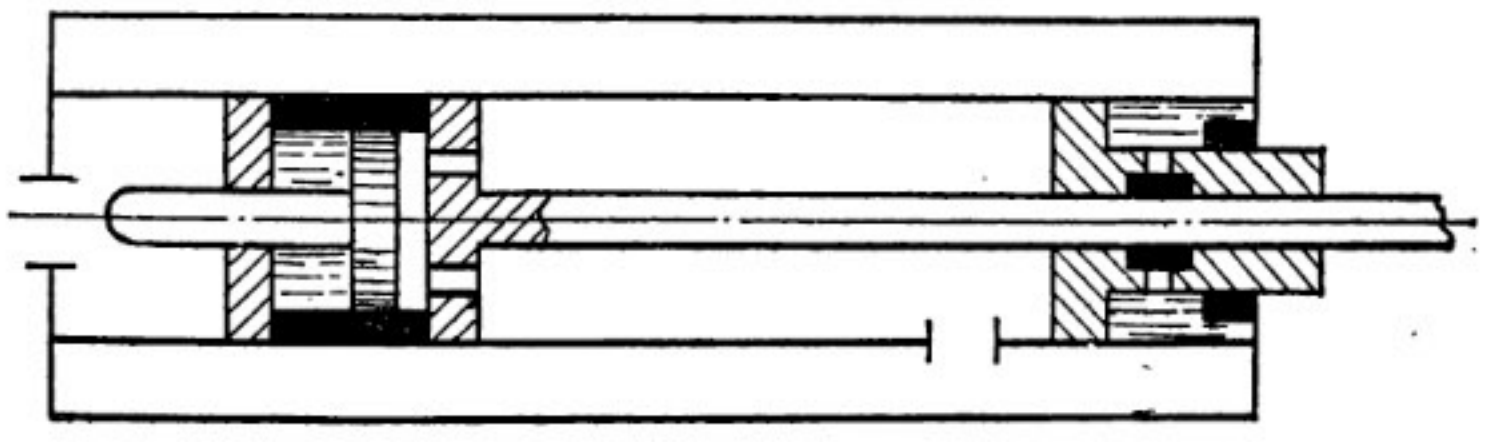


Рис. 13.6. Схема пневматического накатника

К недостаткам этого типа накатников относятся относительная сложность конструкции, худшие эксплуатационные качества (необходимость проведения проверок перед стрельбой) по сравнению с пружинными.

Некоторые накатники для облегчения условий работы тормоза отката имеют клапан дополнительного торможения наката (рис. 13.5). При откате давлением жидкости клапан *а* открывается и не препятствует проходу жидкости из рабочего цилиндра в наружный. При накате жидкость и пружина закрывают клапан. В этом случае за счет пробрызгивания жидкости через отверстия в клапане поглощается часть энергии наката.

Пневматические накатники (рись 13.6) полностью заполнены газом, поэтому наиболее компактны. Они имеют более технологичное концентрическое расположение цилиндров, так как

для обеспечения герметичности небольшим количеством жидкости заполняются только уплотнения. Конструкция уплотнений такова, что давление жидкости в них больше давления газа в накатнике. Это достигается тем, что площади поршней (сжимающих жидкость), обращенные к газу, больше площадей, обращенных к жидкости (принцип, аналогичный принципу действия пластического обтюратора). Высокое давление жидкости передается затем воротникам уплотнений. Несмотря на очевидные достоинства, пневматические накатники нашли пока ограниченное применение из-за сложности конструкции уплотнений.

Для расчета противооткатных устройств необходимо знать значение силы накатника в процессе отката и наката ствола. Задача состоит в определении силы накатника в функции от пути отката $П=f(X)$.

Процесс сжатия и расширения газа в накатнике происходит по политропическому закону, т. е.

$$p W^n = p_0 W_0^n = \text{const}, \tag{13.3}$$

где p и W — текущие значения давления и объема газа в накатнике;
p_0 и W_0 — начальные их значения (до отката);
n — показатель политропы, который принимают равным 1, 2.

Решив уравнение (13.3) относительно p, будем иметь

$$p = p_0 \left(\frac{W_0}{W}\right)^n. \tag{13.4}$$

Текущее значение объема газа из физических соображений

$$W = W_0 - A_н X, \tag{13.5}$$

где $A_н = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ — рабочая площадь поршня накатника;
D — диаметр поршня;
d — диаметр штока.

Формула (13.5) отражает тот факт, что текущий объем газа равен разности начального его объема и объема вытесненной из рабочего цилиндра жидкости к рассматриваемому моменту отката.

Найдем отношение $\frac{W_0}{W}$ с учетом выражения (13.5):

$$\frac{W_0}{W} = \frac{W_0}{W_0 - A_н X} = \frac{\frac{W_0}{A_н}}{\frac{W_0}{A_н} - X} = \frac{S_0}{S_0 - X}, \tag{13.6}$$

где $S_0 = \frac{W_0}{A_н}$ — приведенная длина начального объема газа в накатнике.

Тогда уравнение (13.4) с учетом зависимости (13.6) примет вид

$$p = p_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - X} \right)^n. \qquad (13.7)$$

Так как сила накатника $\Pi = pA_н$ и начальная сила $\Pi_0 = p_0 A_н$, то из уравнения (13.7) можно найти закон изменения силы накатника в функции пути отката:

$$\Pi = \Pi_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - X} \right)^n. \qquad (13.8)$$

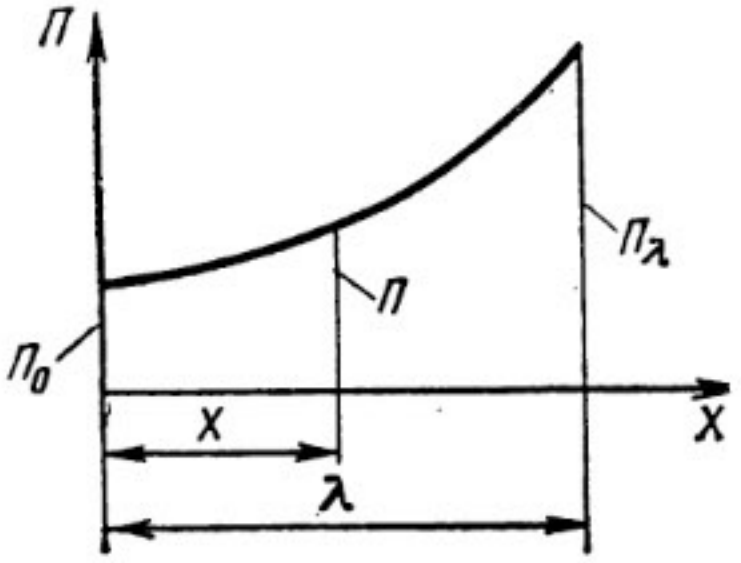


Рис. 13.7. График силы гидропневматического накатника

Идентичное выражение имеет и закон изменения силы пневматического накатника. Характер изменения силы накатника $\Pi = f(X)$ показан на графике (рис. 13.7). Он может быть построен, если известны следующие величины: Π_0 — начальная сила накатника; S_0 — приведенная длина начального объема газа. Начальную силу накатника получают из условия надежного удержания откатных частей при всех углах возвышения ствола. Для этого начальная сила должна преодолевать сопротивление двух сил — составляющей силы веса и силы трения, в случае если под действием каких-либо возмущающих факторов ствол отойдет от исходного положения после наката (например, колебаний после выстрела), т. е.

$$\Pi_0 \geqslant M_0 g \sin \varphi + R_f.$$

С учетом формулы (12.62) для R_f получим

$$\Pi_0 \geqslant M_0 g \sin \varphi + M_0 g (f \cos \varphi + \nu)$$

или

$$\Pi_0 \geqslant M_0 g (\sin \varphi + f \cos \varphi + \nu).$$

Полученное выражение представляет собой $\Pi_0 = f(\varphi)$ — функцию, которая монотонно возрастает при изменении φ от 0 до некоторого значения φ_m, соответствующего максимуму Π_0. Это значение найдем по общим правилам, т. е. из равенства

$$\frac{d\Pi_0}{d\varphi} = 0;$$

$$\frac{d\Pi_0}{d\varphi} = M_0 g (\cos \varphi_m - f \sin \varphi_m) = 0,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{1}{f}.$$

При $f = 0{,}2$ $\varphi_m \approx 80°$.

Для орудий полевой артиллерии максимальный угол возвышения ствола $\varphi_{max} < \varphi_m$. Поэтому требуемая сила Π_0 рассчитывается при $\varphi = \varphi_{max}$ с 10-процентным гарантийным запасом, т. е.

$$\Pi_0 = 1{,}1 M_0 g (\sin \varphi_{max} + f \cos \varphi_{max} + \nu). \qquad (13.9)$$

Начальная сила накатника, рассчитанная из таких соображений, естественно, будет надежно удерживать откатные части и при меньших углах возвышения. На практике для полевых орудий

$$\Pi_0 = (1{,}0 \div 1{,}25) M_0 g.$$

Приведенную длину начального объема газа S_0 определяют, используя понятие о степени сжатия газа m. Степень сжатия — это отношение конечной силы накатника к начальной:

$$m = \frac{\Pi_\lambda}{\Pi_0} = \frac{p_\lambda}{p_0}. \qquad (13.10)$$

Из закона (13.8)

$$\Pi_\lambda = \Pi_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - \lambda} \right)^n.$$

Тогда

$$m = \frac{\Pi_\lambda}{\Pi_0} = \left(\frac{S_0}{S_0 - \lambda} \right)^n,$$

откуда

$$S_0 = \frac{\lambda}{1 - \frac{1}{m^{\frac{1}{n}}}}. \qquad (13.11)$$

У полевых орудий для гидропневматических накатников принимают $m = 1{,}5 \div 3$.

При выборе степени сжатия нужно руководствоваться следующими соображениями:

1. Принятая величина m должна быть меньше ее предельного значения, т. е. $m \leqslant m_{пр}$. Предельное значение степени сжатия вытекает из условия устойчивости орудия после отката. Так как после отката $X = \lambda$, $\Phi = 0$ и

$$R_\lambda = \Pi_\lambda + R_f - Q_0 \sin \varphi_{пр},$$

то

$$m_{пр} = \frac{\Pi_\lambda}{\Pi_0} = \frac{R_\lambda - R_f + Q_0 \sin \varphi_{пр}}{\Pi_0}. \qquad (13.12)$$

На практике $m_{пр} = 4 \div 5$.

2. С увеличением m увеличивается избыточная энергия накатника, которая должна быть поглощена тормозом наката, чем усложняются работа и конструкция тормоза.

3. Начальный объем газа в накатнике $W_0 = A_н S_0$. С увеличением m уменьшаются S_0 и начальный объем газа W_0, а следовательно, уменьшаются и габариты накатника.

4. Увеличение m приводит к увеличению давления в накатнике в конце отката, что увеличивает интенсивность нагрева газа и усложняет его обтюрацию.

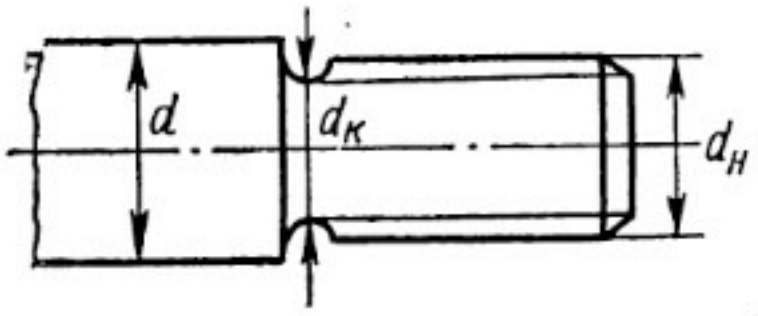


Рис. 13.8. К расчету диаметра штока

Методику расчета конструктивных размеров гидропневматического накатника покажем на примере двухцилиндрового накатника с совмещенными цилиндрами.

1. Диаметр штока d определяется из условия прочности штока в сечении с наименьшей площадью (в месте канавки для выхода резца, рис. 13.8). Расчет ведется на растяжение:

$$\frac{\Pi_\lambda}{\frac{\pi d_к^2}{4}} = [\sigma],$$

где $d_к$ — диаметр штока по дну канавки;

$[\sigma] = \frac{\sigma_т}{n}$ — допустимое напряжение;

$n = 3 \div 4$ — коэффициент запаса прочности.

Отсюда

$$d_к = \sqrt{\frac{4\Pi_\lambda}{\pi [\sigma]}}. \qquad (13.13)$$

Зная $d_к$ по ГОСТ, определяют наружный диаметр $d_в$ резьбы хвостовика. Чтобы обеспечить свободный проход резьбы хвостовика через уплотнения при сборке, принимают диаметр штока d равным

$$d = d_н + (2 \div 3) \text{ мм}.$$

2. Размеры рабочего цилиндра. Внутренний диаметр D цилиндра находится из выражения для рабочей площади поршня накатника

$$A_н = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2), \qquad (13.14)$$

откуда

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4A_н}{\pi}}.$$

Так как

$$\Pi_0 = A_н p_0,$$

то

$$A_н = \frac{\Pi_0}{p_0}.$$

Начальным давлением p_0 в накатнике задаются. Для полевых орудий, у которых накатник заполняется воздухом вручную с помощью воздушно-гидравлического насоса, значение начального давления принимают в пределах $p_0 = (40 \div 60) \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

Далее из расчета на прочность при наиболее неблагоприятном случае нагружения определяется наружный диаметр $D_н$ рабочего цилиндра. Этот случай соответствует положению поршня накатника после совершения отката, когда на цилиндр действует наружное давление p_{max}. Наибольшие сжимающие напряжения в рабочем цилиндре под действием наружного давления определяются по формуле

$$\sigma = 2p_{max} \frac{R_н^2}{R_н^2 - R^2} \leqslant [\sigma], \qquad (13.15)$$

где $p_{max} = (1{,}5 \div 2)\, p_\lambda$ — испытательное давление накатника;

R — внутренний радиус рабочего цилиндра;

$R_н$ — наружный радиус рабочего цилиндра;

$[\sigma] = \frac{\sigma_т}{n}$ — допустимое напряжение;

$n = 1{,}5 \div 2$ — коэффициент запаса прочности.

Из формулы (13.15) наружный радиус рабочего цилиндра

$$R_н = R \sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - 2p_{max}}}. \qquad (13.16)$$

Далее производится проверочный расчет на устойчивость формы. Под действием наружного давления жидкости цилиндр может быть раздавлен (сплющен).

Критическое давление, при котором это может произойти:

$$p_{кр} = \frac{E}{4(1 - \mu^2)} \left(\frac{\Delta_р}{R}\right)^3, \qquad (13.17)$$

где E — модуль упругости;

μ — коэффициент Пуассона;

$\Delta_р$ — толщина стенок цилиндра.

Запас устойчивости определяется отношением

$$n = \frac{p_{кр}}{p_\lambda} \geqslant 2.$$

В существующих конструкциях $\Delta_р = (3—4)$ мм. Длина рабочего цилиндра должна обеспечивать свободный ход поршня на величину $1{,}2\,\lambda$.

3. Размеры наружного цилиндра. При известной длине цилиндра внутренний диаметр наружного цилиндра $D_ц$ зависит от диаметра рабочего цилиндра, от начального объема газа

и жидкости. Установим связь между величинами H, F_0, $R_ц$ и φ (рис. 13.9). Площадь сегмента, занятого газом:

$$F_0 = \frac{R_ц^2}{2}(2\varphi - \sin 2\varphi). \qquad (13.18)$$

Высота столба жидкости

$$H = R_ц + R_ц \cos\varphi, \qquad (13.19)$$

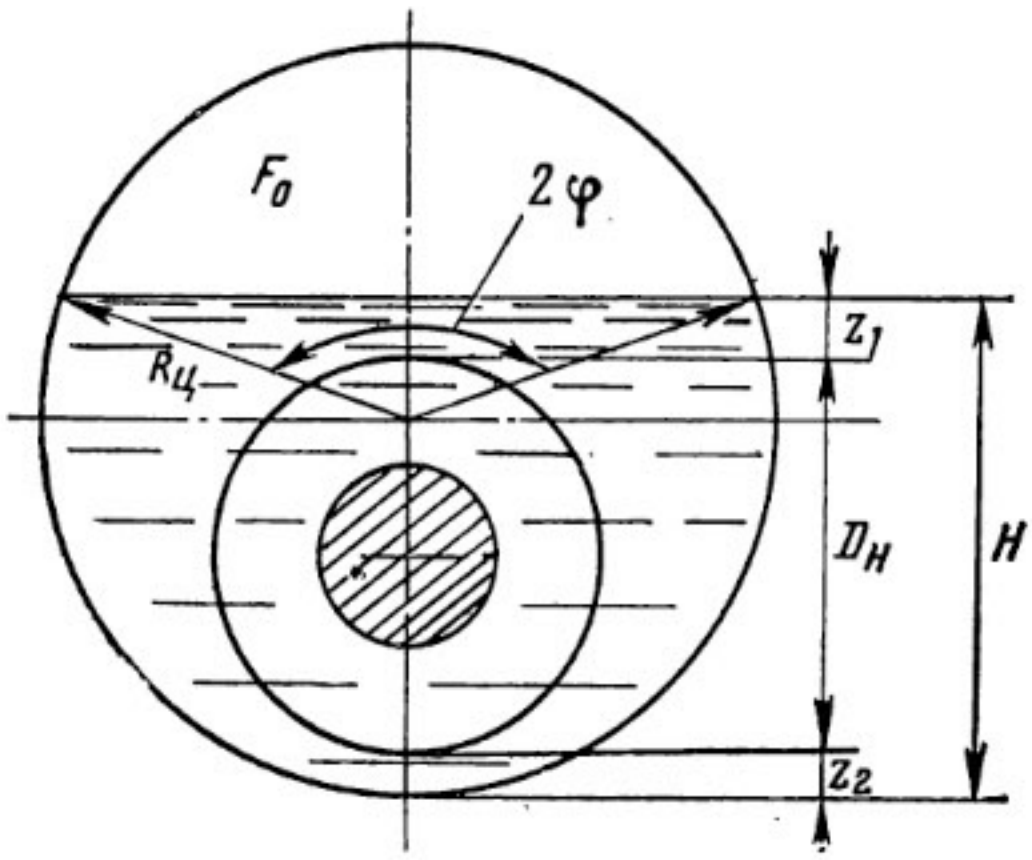


Рис. 13.9. Поперечное сечение накатника

откуда

$$R_ц = \frac{H}{1 + \cos\varphi}.$$

Подставив значение $R_ц$ в формулу (13.18), получим

$$\frac{F_0}{H^2} = \frac{2\varphi - \sin 2\varphi}{2(1 + \cos\varphi)^2} = f(\varphi).$$

Функцию

$$f(\varphi) = \frac{2\varphi - \sin 2\varphi}{2(1 + \cos\varphi)^2}$$

можно рассчитать, задаваясь φ, и можно также построить график или составить таблицу (табл. 13.1).

Таблица 13.1

$\varphi°$	30	60	75	90	105	120	135	150
$f(\varphi)$	0,025	0,272	0,61	1,57	3,8	10,1	31,5	180

С другой стороны, функция $f(\varphi)$ равна

$$f(\varphi) = \frac{F_0}{H^2}, \qquad (13.20)$$

где $F_0 = \frac{W_0}{l_н}$ ($l_н$ — расстояние между днищами наружного цилиндра);

$$H = D_н + Z_1 + Z_2.$$

Из опыта проектирования

$$Z_1 = (0 \div 5) \text{ мм},$$
$$Z_2 = (5 \div 15) \text{ мм}.$$

Из изложенного вытекает порядок определения внутреннего радиуса наружного цилиндра:

— по формуле (13.20) вычисляется $f(\varphi)$;

— по известной $f(\varphi)$ из таблицы (графика) определяется φ;

— зная φ, по формуле (13.19) определяют $R_ц$.

Толщиной стенок наружного цилиндра обычно задаются $\Delta_ц = (4—7)$ мм. Тогда наружный радиус цилиндра

$$R_{цн} = R_ц + \Delta_ц.$$

Имея размеры, производят проверочный расчет цилиндра на прочность (как толстостенного, нагруженного внутренним давлением) по зависимостям второй теории прочности:

$$\sigma = \frac{2}{3} p_{max} \frac{2R_{цн}^2 + R_ц^2}{R_{цн}^2 - R_ц^2} \leqslant [\sigma], \qquad (13.21)$$

где p_{max} — испытательное давление.

Коэффициент запаса прочности $n = 1{,}5 + 2$.

Особенности расчета пружинного накатника состоят в следующем.

Степень сжатия пружинного накатника обычно принимается $m = 2$. Тогда, зная λ и рассчитав начальную силу $П_0$ по формуле (13.9), можно построить график силы пружины накатника, который, как известно, имеет прямолинейную зависимость (рис. 13.10). При этом $П_\lambda = mП_0$. Закон изменения силы накатника $П = f(X)$ (уравнение прямой) найдем, используя подобие треугольников (рис. 13.10):

$$\frac{П}{П_0} = \frac{f_0 + X}{f_0},$$

где f_0 — стрела предварительного сжатия пружины.

Тогда

$$П = П_0 \left(1 + \frac{X}{f_0}\right). \qquad (13.22)$$

Стрела предварительного сжатия определяется из выражения (13.22) при условии, что, когда $X = \lambda$, $П = П_\lambda$. В этом случае

$$\frac{П_\lambda}{П_0} = m = 1 + \frac{\lambda}{f_0},$$

откуда

$$f_0 = \frac{\lambda}{m-1}. \qquad (13.23)$$

Из выражения (13.23) следует, что при $m=2$ стрела предварительного сжатия $f_0=\lambda$. Жесткость пружины C, равная $\operatorname{tg}\alpha$, определится выражением

$$C = \frac{\Pi_0}{f_0} = \frac{\Pi_0}{\lambda}. \qquad (13.24)$$

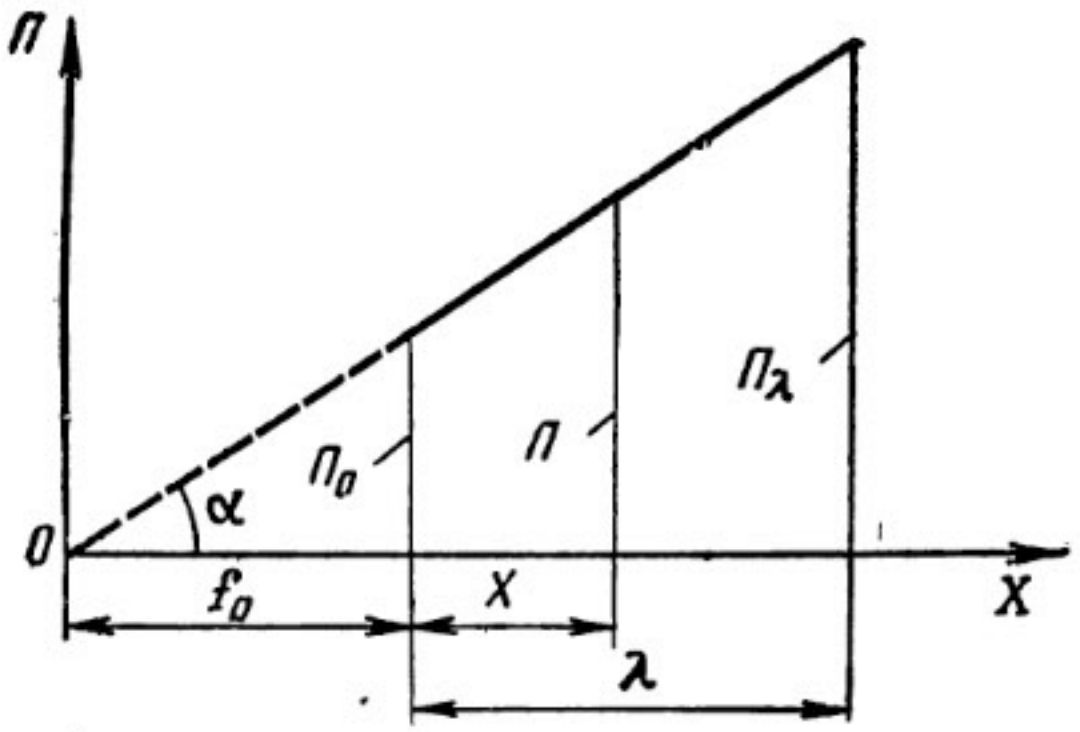


Рис. 13.10. График силы пружинного накатника

Далее, имея величины C, f_0 и исходя из конструктивных соображений, рассчитывают пружину.

§ 13.2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА ОТКАТА

Тормоз отката предназначен для поглощения энергии откатных частей, приобретенной ими под действием выстрела. В процессе поглощения энергии происходит торможение откатных частей при откате и накате.

Торможение осуществляется силой гидравлического сопротивления, возникающей при перетекании жидкости из одной полости тормоза в другую через отверстия малой площади.

Независимо от конструкции сущность действия любого гидравлического тормоза: то ли отката, то ли наката — одинакова. Поясним сущность действия тормоза на упрощенной схеме (рис. 13.11), пренебрегая коэффициентом сжатия струи. При движении штока с поршнем жидкость вытесняется из рабочей полости *1* в нерабочую *2* через отверстия *3*. Применяя к потоку жидкости уравнение постоянства расхода (уравнение неразрывности потока), получим

$$aW = A_т V,$$

где a — площадь отверстий истечения в поршне;
W — скорость истечения жидкости через отверстия;

$A_т = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ — рабочая площадь поршня (живое сечение вытесняемого потока);

V — скорость вытеснения жидкости из цилиндра (равна скорости отката).

Откуда

$$W = \frac{A_т}{a} V.$$

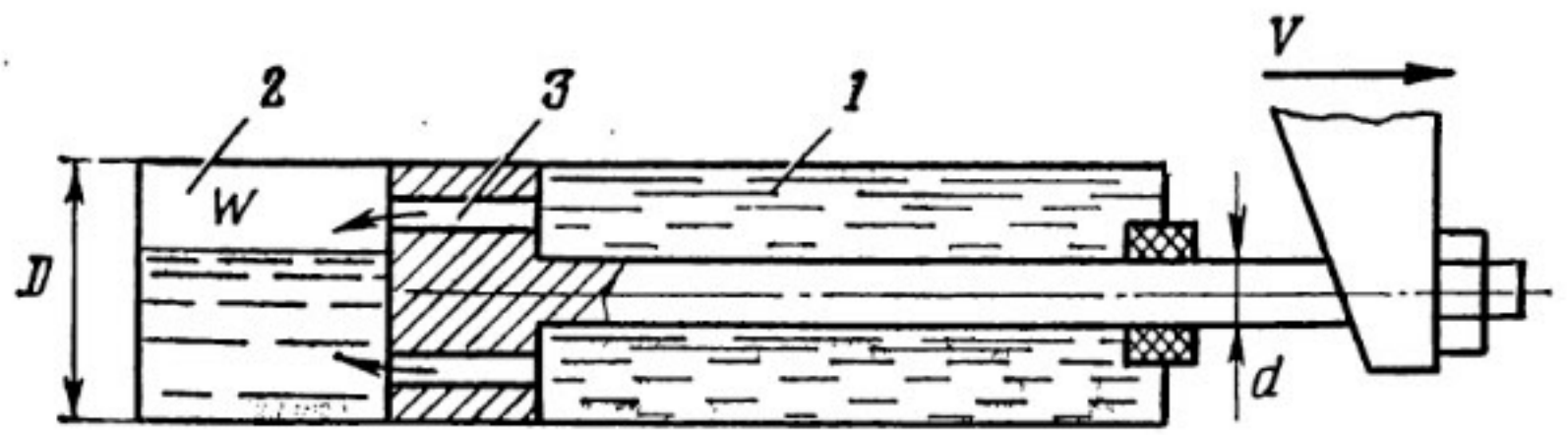


Рис. 13.11. Упрощенная схема гидравлического тормоза:
1 — рабочая полость; *2* — нерабочая полость; *3* — отверстие

Отношение площадей $\frac{A_т}{a}$ может достигать 20+40. Поэтому при скорости отката $V_{max} = (8+15)\ \frac{м}{с}$ скорость истечения жидкости через отверстия может достигать сотен метров в секунду. Таким образом, сущность поглощения энергии гидравлическим тормозом заключается в превращении кинетической энергии откатных частей в кинетическую энергию частиц (струек) жидкости.

Пример. Если откатные части с массой $M_0 = 2000$ кг имеют скорость $V = 10$ м/с, то их кинетическая энергия

$$E_0 = \frac{M_0 V^2}{2} = \frac{2000 \cdot 10^2}{2} = 10^5 \text{ Дж}.$$

При перетекании через отверстия жидкости, имеющей массу $m_ж = 5$ кг, с постоянной скоростью $W = 200$ м/с она получит кинетическую энергию

$$E_ж = \frac{m_ж W^2}{2} = \frac{5 \cdot 200^2}{2} = 10^5 \text{ Дж}.$$

Рассмотренный нами весьма упрощенный пример показывает, что даже без учета сил трения вся кинетическая энергия откатных частей может быть превращена в кинетическую энергию частиц небольшого количества жидкости. В дальнейшем эта кинетическая энергия благодаря внутреннему трению и ударам частиц о стенки тормоза превращается в тепловую, которая затем рассеивается в окружающей среде.

В рабочей полости тормоза до начала истечения частицы жидкости находятся в покое. Для преодоления сил инерции частиц и сообщения им большой скорости необходимы и большие ускоре-

ния, которые могут возникнуть только в результате силового воздействия — давления. Поэтому процесс истечения сопровождается повышением давления в жидкости, находящейся в рабочей полости. Повышение давления обусловлено также необходимостью преодоления сил трения между частицами жидкости (вязкости жидкости). Давление в жидкости будет тем больше, чем больше скорость ее истечения через отверстия. Вследствие повышения давления в жидкости она оказывает сопротивление движению поршня со штоком (откатным частям). Сопротивление движению откатных частей объема жидкости, находящегося в рабочей полости тормоза, называют гидравлическим сопротивлением откату, или просто гидравлическим сопротивлением.

Сила гидравлического сопротивления тормоза

$$\Phi = A_т p,$$

где p — давление жидкости в рабочей полости тормоза.

Действуя на дно цилиндра тормоза в обратном направлении, сила гидравлического сопротивления передается на лафет.

С учетом сказанного следует, что сила гидравлического сопротивления тормоза (сила тормоза отката) будет тем больше, чем больше скорость откатных частей и меньше площадь отверстий истечения.

Действительная скорость откатных частей известна из расчета торможенного отката. Поэтому для обеспечения требуемого закона изменения силы тормоза отката площадь отверстий истечения делают переменной. Так как сила сопротивления тормоза отката при накате сравнительно мала (из-за малых скоростей наката) и недостаточна для поглощения избыточной энергии накатника, то в конструкцию тормоза отката вводят еще одно устройство — узел торможения наката (тормоз наката).

Важной особенностью работы тормоза независимо от конструкции является то, что при откате в нем будет образовываться свободный объем (вакуум), равный объему вышедшей части штока. Вакуум, как правило, образуется в нерабочей полости цилиндра тормоза. При накате по мере вхождения штока в полость цилиндра вакуум частично будет убывать, частично будет переходить из нерабочей полости в рабочую. В некоторый момент наката вакуум полностью сосредоточится в рабочей полости и совершенно исчезнет только в конце наката.

В настоящее время имеется большое многообразие конструктивных схем тормозов отката и наката. Главным признаком для их классификации является способ регулирования площади отверстий истечения жидкости, т. е. конструкция узла торможения.

По конструкции узла торможения при откате тормоза отката делятся на следующие типы:

— канавочные (простейшего типа);
— шпоночные;
— веретенного типа;

— золотниковые;
— клапанные.

Кроме того, тормоза бывают с постоянной и переменной длиной отката.

У тормозов отката канавочного типа (рис. 13.12) отверстиями для истечения жидкости при откате являются канавки переменной глубины на внутренней поверхности цилиндра. Тормоз наката выполнен в виде иглы переменного сечения и регулирующего кольца. Так как игла имеет относительно малую длину (из

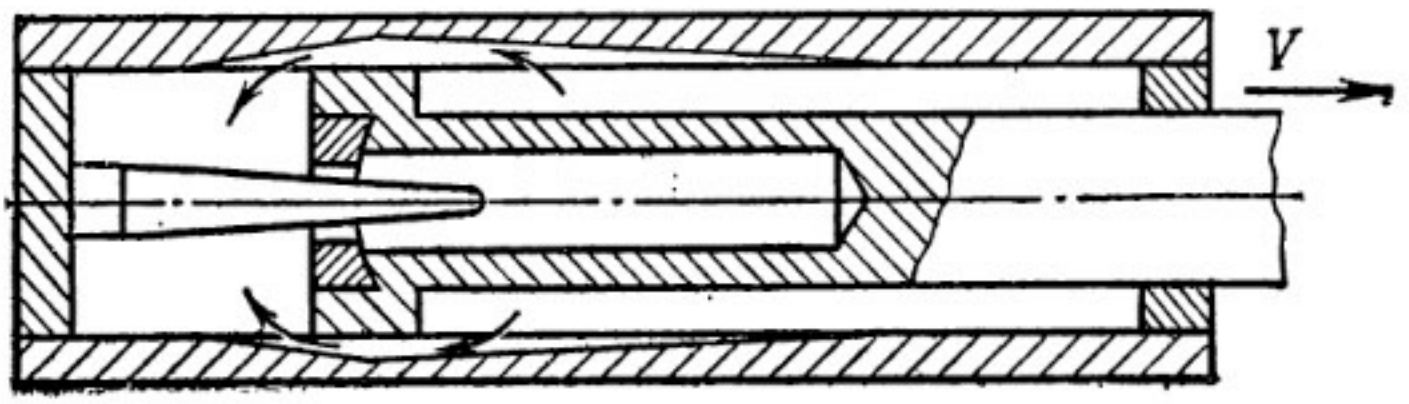


Рис. 13.12. Схема тормоза отката канавочного типа

условия ее устойчивости), то при накате до момента выбора вакуума в нерабочей полости откатные части ничем не тормозятся, разгоняясь накатником. После выбора вакуума начинается их торможение тормозом отката. Одновременно или несколько позже при входе иглы в полость штока вступает в действие тормоз наката. Эти тормоза просты в изготовлении и применяются для полевых орудий, обладающих большим запасом устойчивости при накате, или для стационарных орудий, так как сила тормоза в момент выбора вакуума может достигать значительной величины.

Тормоза отката шпоночного типа отличаются от канавочного лишь тем, что вместо канавок на внутренней поверхности цилиндра имеются шпонки переменной высоты. В этом случае поршень имеет канавки постоянной глубины.

Тормоза отката веретенного типа (рис. 13.15) нашли широкое распространение для полевой артиллерии среднего калибра. У них основным отверстием для истечения жидкости при откате является кольцевой зазор между веретеном переменного сечения и регулирующим кольцом. При откате кроме основного потока жидкости, проходящего через кольцевой зазор, возникает дополнительный поток, открывающий клапан модератора и полностью заполняющий через отверстия в модераторе полость штока. Поэтому вакуум образуется только в нерабочей полости цилиндра. Тормозом наката служат канавки переменной глубины на внутренней поверхности штока и модератор. Важным достоинством тормоза этого типа является то, что торможение откатных частей при накате осуществляется с началом их движения. С началом наката клапан закрывает отверстия в модераторе и жидкость начинает пробрызгиваться только через канавки штока, поглощая энергию откатных частей (рис. 13.17). Тормоз отката вступает в действие при накате только после выбора вакуума в нерабочей полости цилиндра. Та-

ким образом, в тормозе этого типа торможение осуществляется на всем пути наката, что уменьшает нагрузки на лафет и благоприятно влияет на устойчивость орудия при накате.

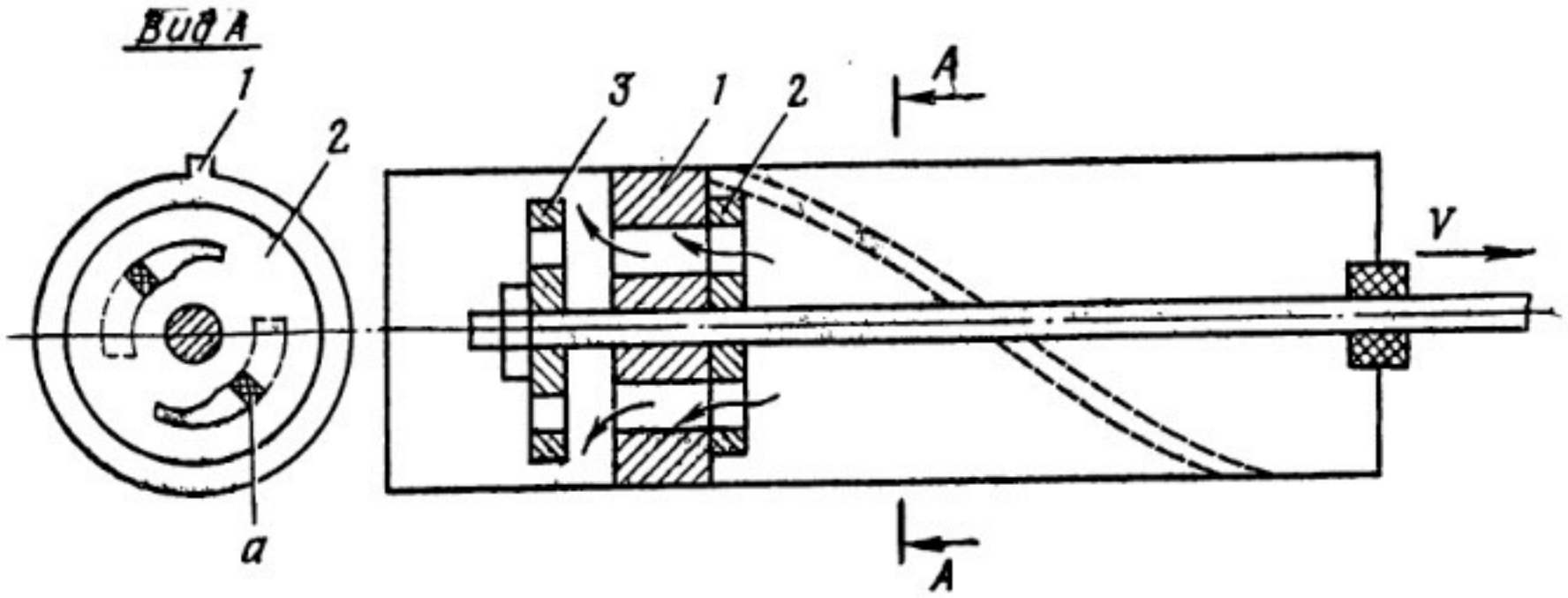


Рис. 13.13. Схема тормоза отката золотникового типа:
а — отверстие; *1* — поршень; *2* и *3* — неподвижные золотники

У тормозов отката золотникового типа площадь отверстий истечения *а* (рис. 13.13) изменяется за счет поворота регулирующих деталей относительно друг друга. На рис. 13.13 изображена схема тормоза, у которого благодаря винтовой канавке на внутренней поверхности цилиндра поршень *1* с окнами вращается относительно неподвижных золотников *2* и *3* с фигурными вырезами. При откате золотник *3* отходит от поршня, а между окнами вращающегося поршня *1* и фигурными вырезами золотника *2* образуется требуемое отверстие истечения *а*. При накате после выбора вакуума в нерабочей полости цилиндра все происходит наоборот. Возможна конструкция с неподвижным поршнем и вращающимися золотниками.

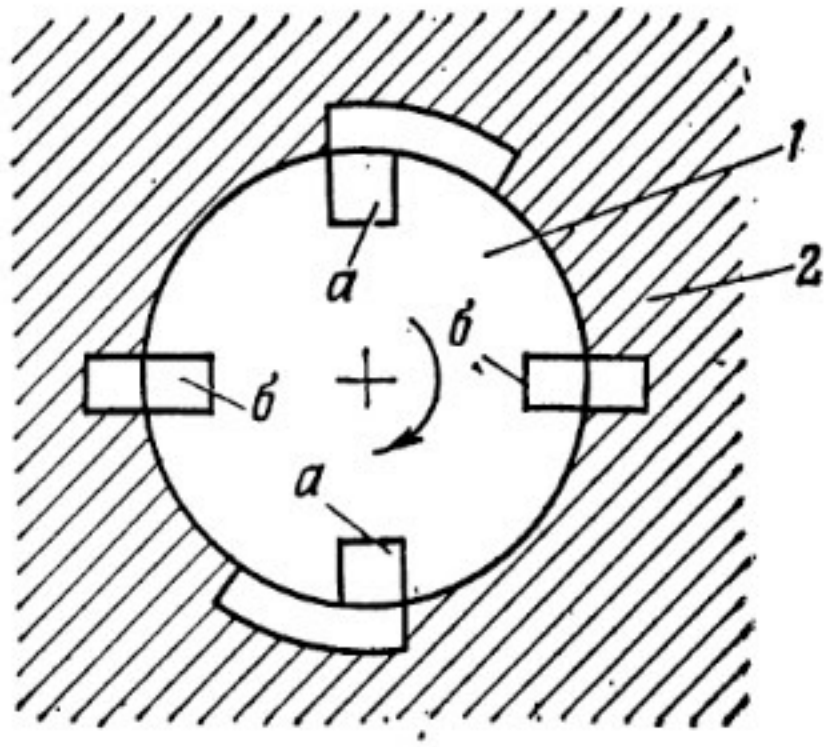


Рис. 13.14. Схема расположения канавок в тормозе с переменной длиной отката:
а и *б* — канавки переменной глубины; *1* — веретено (контршток); *2* — вкладыш

Клапанные тормоза отката обычно бывают конструктивно связаны с накатником в единый агрегат тормоз отката — накатник.

Тормоз с переменной длиной отката чаще всего представляет собой тормоз отката веретенного типа с несколько измененной конструкцией. На веретене (контршток) *1* такого тормоза (рис. 13.14), имеющего постоянный диаметр, имеются канавки переменной глубины: две короткие *а* и две длинные *б*. Внутри поршня вместо регулирующей гайки закреплен вкладыш *2* с четырьмя окнами, через которые жидкость поступает к канавкам,

Веретено при изменении углов возвышения ствола вращается автоматически с помощью механизма изменения длины отката. Принцип работы тормоза отката следующий. При малых углах возвышения веретено неподвижно (соответствует положению на рис. 13.14) и жидкость поступает из рабочей полости в нерабочую по всем четырем канавкам. В этом положении веретена откат будет длинным. При больших углах возвышения веретено поворачивается, длинные канавки перекрываются, а короткие остаются

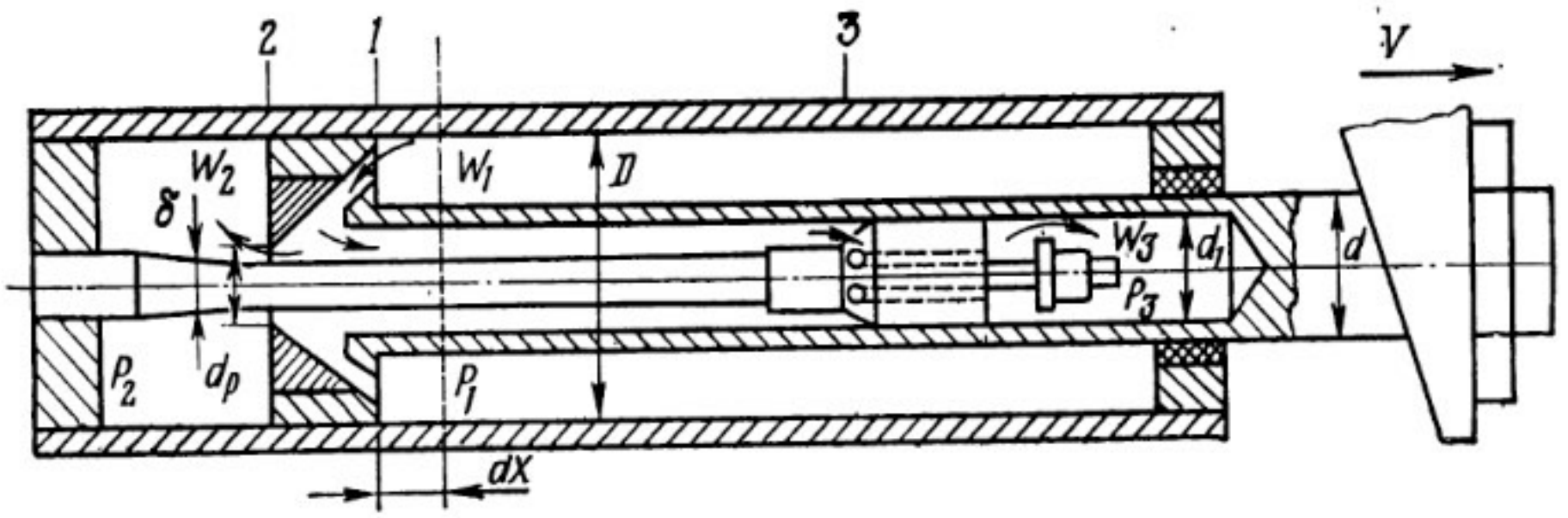


Рис. 13.15. Схема тормоза отката веретенного типа

открытыми. Откат будет коротким. У некоторых тормозов отката веретено имеет только длинные канавки, а короткие размещены на внутренней поверхности цилиндра. Переменная длина отката может быть осуществлена также при применении тормоза отката золотникового типа.

Найдем силу тормоза веретенного типа при откате.

В конструкции тормоза веретенного типа (рис. 13.15) при откате поток жидкости, поступающей из рабочей полости в поршень, разделяется на два: поток, идущий в нерабочую полость через кольцевой зазор между веретеном и регулирующим кольцом, — основной; поток, идущий в полость штока через каналы модератора, — дополнительный.

Примем следующие допущения:

— тормоз отката полностью заполнен реальной жидкостью, сжимаемостью которой пренебрегаем;

— давление внутри поршня равно давлению p_1 в рабочей полости;

— давление p_2 в нерабочей полости полагаем равным нулю вследствие образования в нерабочей полости вакуума.

Введем следующие обозначения и определения:

$$A_т = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \qquad (13.25)$$

— рабочая площадь поршня;

$$A_{тн} = \frac{\pi}{4} d_1^2 \qquad (13.26)$$

— рабочая площадь тормоза наката (площадь полости штока);

$$A_р = \frac{\pi}{4} d_р^2 \qquad (13.27)$$

— площадь отверстия регулирующего кольца;

$$A_в = \frac{\pi}{4} \delta^2 \qquad (13.28)$$

— переменная площадь веретена;

$$a = \frac{\pi}{4} \left(d_р^2 - \delta^2\right) \qquad (13.29)$$

— переменная площадь кольцевого зазора между веретеном и регулирующим кольцом;

$$\Omega = A_{тн} - A_р \qquad (13.30)$$

— минимальная площадь для прохода жидкости в замодераторное пространство (на практике диаметр цилиндрического участка веретена перед модератором равен диаметру регулирующего очка $d_р$, а площадь каналов в модераторе $C = (1+1{,}8)\ \Omega$).

Сила тормоза отката будет равна сумме проекций сил, действующих на шток с поршнем вдоль его оси:

$$\Phi = p_1 A_т + p_1 (A_{тн} - A_р) - p_з A_{тн}, \qquad (13.31)$$

где $p_1 (A_{тн} - A_р)$ — сила, действующая на закраины регулирующего кольца, так как $d_р < d_1$.

Сгруппировав члены выражения (13.31), получим

$$\Phi = p_1 (A_т - A_р) + (p_1 - p_з) A_{тн}. \qquad (13.32)$$

Давление p_1 найдем из уравнения Бернулли для основного потока жидкости (сечений *1—2*):

$$\frac{W_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gZ_1 = \frac{W_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gZ_2 + h_п,$$

или

$$\frac{W_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gZ_1 = (1 + \zeta) \frac{W_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gZ_2, \qquad (13.33)$$

где $h_п = \zeta \frac{W_2^2}{2}$ — потерянный напор;

ζ — коэффициент гидравлических потерь;

ρ — плотность жидкости;

Z_1 и Z_2 — высоты уровня потоков над плоскостью сравнения.

Пренебрегая разностью высот уровней потоков Z_1 и Z_2, скоростью W_1 и принимая $p_2 = 0$, получаем

$$p_1 = \frac{(1 + \zeta) \rho W_2^2}{2}. \qquad (13.34)$$

Величину скорости W_2 найдем из уравнения расхода

$$A_т dX = \varepsilon a W_2 dt + A_в dX, \qquad (13.35)$$

где $A_т dX$ — объем жидкости, вытесненной поршнем из рабочей полости на пути dX, который проходят откатные части за время dt;

$\varepsilon a W_2 dt$ — объем жидкости, попадающей в нерабочую полость за время dt;

ε — коэффициент сжатия струи;

$A_в dX$ — объем жидкости, прошедшей через модератор в полость штока, равный объему жидкости, вышедшей из полости штока части веретена.

Из выражения (13.35)

$$W_2 = \frac{A_т - A_в}{\varepsilon a} \cdot \frac{dX}{dt} = \frac{A_т - A_в}{\varepsilon a} V, \qquad (13.36)$$

где $\frac{dX}{dt} = V$ — скорость отката.

Подставив W_2 в формулу (13.34), получим

$$p_1 = \frac{(1+\zeta)}{\varepsilon^2} \cdot \frac{\rho}{2} \left(\frac{A_т - A_в}{a} \right)^2 V^2,$$

или

$$p_1 = \frac{к\rho}{2} \left(\frac{A_т - A_в}{a} \right)^2 V^2, \qquad (13.37)$$

где $к = \frac{1+\xi}{\varepsilon^2}$ — коэффициент сопротивления для основного потока жидкости.

Перепад давлений $(p_1 - p_3)$ найдем из уравнения Бернулли для дополнительного потока жидкости (сечений *1—3*):

$$\frac{W_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gZ_1 = (1+\zeta_3)\frac{W_3^2}{2} + \frac{p_3}{\rho} + gZ_3. \qquad (13.38)$$

Пренебрегая скоростью W_1 и разностью высот уровней $Z_1 — Z_2$, получаем

$$p_1 - p_3 = \frac{(1+\zeta_3)\rho W_3^2}{2}, \qquad (13.39)$$

где ζ_3 — коэффициент гидравлических потерь.

Скорость W_3 дополнительного потока найдем, записав для него уравнение расхода

$$A_{тн} dX = \varepsilon_3 \Omega W_3 dt, \qquad (13.40)$$

откуда

$$W_3 = \frac{A_{тн}}{\Omega} \cdot \frac{1}{\varepsilon_3} \cdot \frac{dX}{dt} = \frac{A_{тн} V}{\Omega \varepsilon_3}, \qquad (13.41)$$

где ε_3 — коэффициент сжатия струи.

Подставляя значение W_3 в формулу (13.39), получаем

$$p_1 - p_3 = \frac{(1+\xi_3)}{\varepsilon_3^2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{A_{тн}^2}{\Omega^2} V^2,$$

или

$$p_1 - p_3 = \frac{к_3 \rho}{2} \cdot \frac{A_{тн}^2}{\Omega^2} V^2, \qquad (13.42)$$

где $к_3 = \frac{1+\zeta_3}{\varepsilon_3^2}$ — коэффициент сопротивления для дополнительного потока жидкости.

Формулу для силы тормоза отката получим, подставив значения давления p_1 (13.37) и перепада давлений $(p_1 - p_3)$ (13.42) в выражение (13.32):

$$\Phi = \frac{\rho}{2}\left[к\left(\frac{A_т - A_в}{a}\right)^2 (A_т - A_р) + к_3 \frac{A_{тн}^3}{\Omega^2}\right] V^2. \qquad (13.43)$$

Несколько преобразуем полученную формулу.

Так как из геометрических соображений $A_в = A_р - a$, то

$$A_т - A_в = A_т - A_р + a = A_{пр} + a,$$

где $A_{пр} = A_т - A_р$ — приведенная площадь поршня.

С учетом этого формула для силы тормоза веретенного типа при откате примет окончательный вид:

$$\Phi = \frac{\rho}{2}\left[к\left(\frac{A_{пр}}{a} + 1\right)^2 A_{пр} + к_3 \frac{A_{тн}^3}{\Omega^2}\right] V^2. \qquad (13.44)$$

Значения коэффициентов сопротивления при расчетах принимают исходя из опыта: $к = 1{,}2 \div 1{,}4$; $к_3 = 3 \div 4$.

Все величины, входящие в формулу (13.44), кроме переменной площади истечения a, бывают известны.

Скорость V откатных частей известна для различных моментов времени из расчета торможенного отката.

Сила тормоза отката Φ определяется для тех же моментов времени из выражения

$$\Phi = R - П - R_f + Q_0 \sin \varphi_{пр}, \qquad (13.45)$$

где $R_f = Q_0 (f \cos \varphi_{пр} + \nu)$.

Площади $A_{пр}$, $A_{тн}$, Ω будем полагать также известными (соображения, по которым они находятся, будут изложены ниже). Поэтому формула (13.44) применяется для расчета переменной площади истечения a тормоза отката (для указанных выше моментов времени).

Из формулы (13.44) имеем

$$\left(\frac{A_{пр}}{a} + 1\right)^2 = \frac{1}{A_{пр}}\left[\frac{2}{к\rho}\left(\frac{\Phi}{V^2}\right) - \frac{к_3}{к} \cdot \frac{A_{тн}^3}{\Omega^2}\right].$$

Обозначая правую часть равенства через

$$Z = \frac{1}{A_{пр}}\left[\frac{2}{кр}\left(\frac{\Phi}{V^2}\right) - \frac{к_з}{к}\frac{A^3_{тн}}{\Omega^2}\right], \qquad (13.46)$$

получаем

$$\left(\frac{A_{пр}}{a} + 1\right)^2 = Z,$$

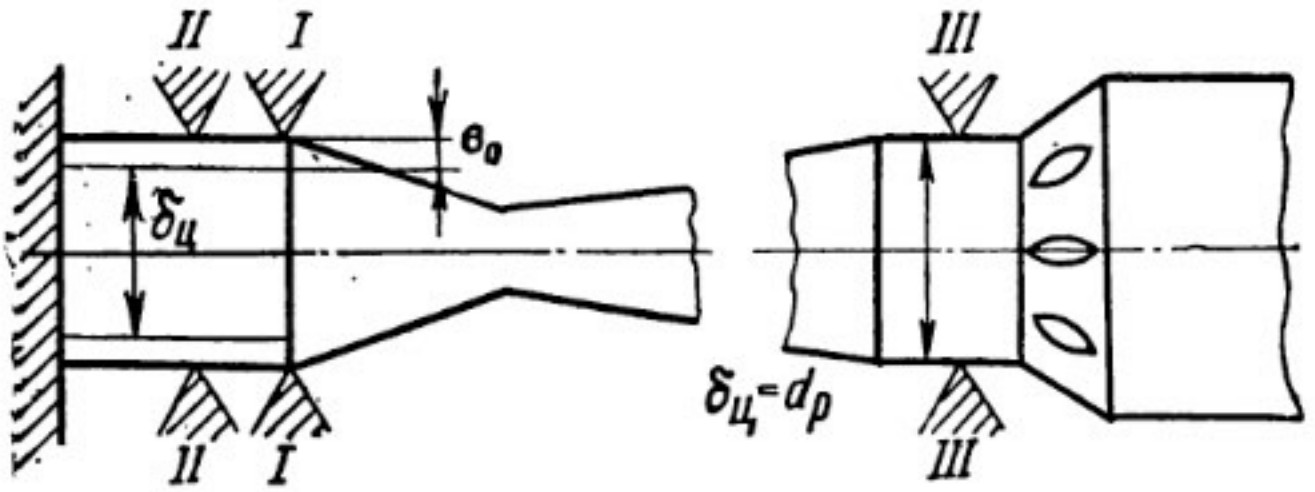


Рис. 13.16. К вопросу о размере диаметра цилиндрической части веретена

откуда

$$a = \frac{A_{пр}}{\sqrt{Z-1}}. \qquad (13.47)$$

Из схемы (13.15) видно, что

$$a = \frac{\pi}{4}\left(d_р^2 - \delta^2\right), \qquad (13.48)$$

где δ — диаметр веретена в плоскости отверстия регулирующего кольца.

Тогда, вычислив a, из формулы (13.48) получим диаметр веретена

$$\delta = \sqrt{a_р^2 - \frac{4a}{\pi}}. \qquad (13.49)$$

По полученным значениям δ (для расчетных моментов времени торможенного отката) строят профиль веретена.

Начало (у дна цилиндра) и конец (у модератора) веретена делаются цилиндрическими. Из полученных зависимостей следует, что в начале и конце отката при $V=0$, $Z=\infty$ и $a=0$. Тогда диаметр цилиндрической части веретена $\delta_ц$ должен быть равен диаметру регулирующего отверстия: $\delta_ц = d_р$.

При таком условии до отката регулирующее кольцо всегда должно занимать строго определенное положение *I—I* (рис. 13.16). Однако по условиям производства это неосуществимо и регулирующее кольцо может занять положение *II—II*. В этом случае при выстреле жидкость практически перетекать из одной полости в другую не будет и давление жидкости в рабочей полости может

возрасти до значений, опасных для прочности деталей тормоза. Поэтому диаметр веретена на начальном участке уменьшают до величины

$$d_{ц} = d_{р} - 2e_0,$$

где $e_0 = 1{,}5 \div 2$ мм.

Равенство $\delta_{ц} = d_{р}$ в конце веретена сохраняют, так как это стабилизирует максимальную длину отката. При заходе регулирующего кольца в положение *III—III* сила Ф возрастает и откат прекращается.

Мы отмечали ранее, что важным достоинством тормоза веретенного типа является то, что у него тормоз наката (модератор наката) действует на всей длине наката. Это будет осуществляться, если во время отката вакуум будет сосредоточиваться только в нерабочей полости цилиндра, а полость штока будет полностью заполняться жидкостью.

Условие заполняемости полости штока жидкостью в самой общей форме может быть записано в виде $p_3 > 0$. Преобразуем это неравенство к удобной для анализа форме:

$$p_3 > p_1 - p_1 \text{ или } p_1 > p_1 - p_3.$$

Подставляя значения давлений из выражений (13.37) и (13.42), получим

$$\frac{к\rho}{2}\left(\frac{A_{пр}}{a} + 1\right)^2 V^2 > \frac{к_3\rho}{2} \cdot \frac{A_{тн}^2}{\Omega^2} V^2$$

или

$$\left(\frac{A_{пр}}{a} + 1\right)^2 > \frac{к_3}{к} \cdot \frac{A_{тн}^2}{\Omega^2}. \qquad (13.50)$$

Левая часть неравенства (13.50) есть величина Z, определяемая зависимостью (13.46). Следовательно:

$$\frac{1}{A_{пр}}\left[\frac{2}{к\rho}\left(\frac{\Phi}{V^2}\right) - \frac{к_3}{к} \cdot \frac{A_{тн}^3}{\Omega^2}\right] > \frac{к_3}{к} \frac{A_{тн}^2}{\Omega^2}. \qquad (13.51)$$

Неравенство (13.51) должно выполняться на протяжении всего отката, т. е. и в случае $\left(\frac{\Phi}{V^2}\right)_{min}$. После преобразования условие заполняемости полости штока жидкостью примет окончательный вид:

$$\Omega > \frac{A_{тн}\sqrt{\frac{к_3\rho}{2}(A_{пр} + A_{тн})}}{\sqrt{\left(\frac{\Phi}{V^2}\right)_{min}}}. \qquad (13.52)$$

При несоблюдении этого условия необходимо изменять геометрические размеры тормоза с учетом характера зависимости (13.52).

Найдем силу тормоза веретенного типа при накате.

При накате, как и при откате, будем полагать реальную жидкость несжимаемой. Названия полостей цилиндра (рабочая и нерабочая), а также обозначения площадей сохраним прежними. Дополнительно обозначим рабочую площадь поршня при накате через

$$A'_{\text{т}} = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d_{\text{р}}^2\right) \tag{13.53}$$

и через $a_{\text{тн}}$ площадь канавок штока. Последовательность рассуждений при выводе формулы для силы тормоза при накате будет также аналогичной: через давления определяется равнодейст-

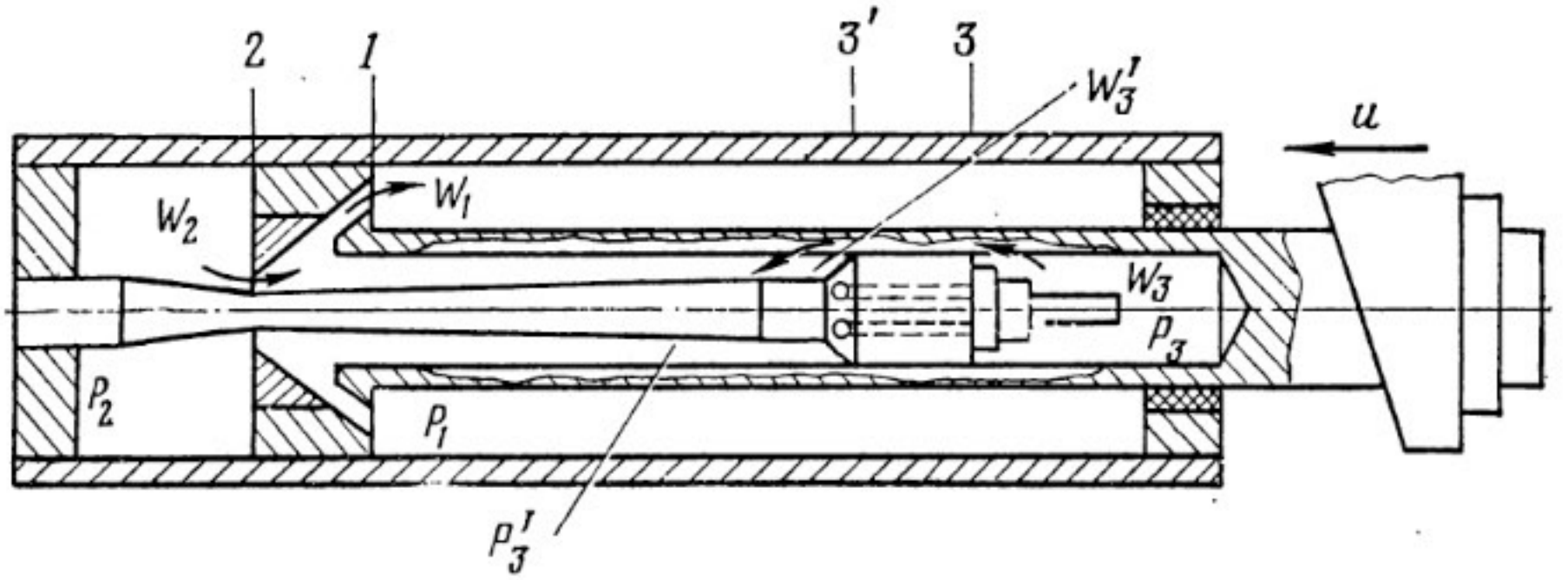


Рис. 13.17. Схема действия тормоза веретенного типа при накате

вующая всех сил, приложенная к штоку с поршнем; применяя уравнение Бернулли, давления выражают через скорости потоков жидкости; затем неизвестные скорости потоков в свою очередь выражают через значения площадей и скорость откатных частей на основе уравнения расхода.

Вообще эта последовательность рассуждений применима для гидравлического тормоза любого типа.

Сила гидравлического сопротивления тормоза при накате складывается из двух сил:

$$\Phi_{\text{н}} = \Phi_{\text{он}} + \Phi_{\text{тн}}, \tag{13.54}$$

где $\Phi_{\text{он}}$ — сила тормоза отката при накате;

$\Phi_{\text{тн}}$ — сила тормоза наката.

Величины слагаемых определяются выражениями (рис. 13.17):

$$\Phi_{\text{он}} = p_2 A'_{\text{т}};$$

$$\Phi_{\text{тн}} = p_3 A_{\text{тн}}.$$

Такое общее значение сила гидравлического сопротивления будет иметь только после выбора вакуума в нерабочей полости. До выбора вакуума давление в нерабочей полости $p_2 = 0$, поэтому $\Phi_{\text{он}} = 0$. По мере наката вследствие входа штока в цилиндр вакуум будет частично убывать, а частично будет перемещаться из нерабочей полости в рабочую. Поэтому на всей длине наката в рабочей

полости будем принимать давление $p_1=0$. Найдем путь наката $\xi_в$, при котором произойдет выбор вакуума в нерабочей полости и возникнет сила $\Phi_{он}$.

Полный объем вакуума, равный

$$w_в = \frac{\pi d^2}{4}\lambda,$$

к концу отката сосредоточен в нерабочей полости. Его вытеснение будет происходить и поршнем, и жидкостью с площадью $\frac{\pi D^2}{4}$ на пути наката $\xi_в$. Тогда из равенства объемов

$$\frac{\pi d^2}{4}\lambda = \frac{\pi D^2}{4}\xi_в$$

$$\xi_в = \frac{\lambda}{\left(\frac{D}{d}\right)^2} = \frac{\lambda}{y^2}, \qquad (13.55)$$

где $y = \frac{D}{d}$.

Для полевых орудий $\xi_в = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}\right)\lambda$.

Таким образом, после выбора вакуума на шток с поршнем будет действовать сила гидравлического сопротивления тормоза

$$\Phi_н = p_2 A'_т + p_в A_{тн}. \qquad (13.56)$$

Уравнение Бернулли для потока жидкости, перетекающей из нерабочей полости в рабочую (сечения *2—1*), имеет вид

$$\frac{W_2^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gZ_2 = (1+\zeta'_1)\frac{W_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gZ_1.$$

Принимая $W_2=0$, $p_1=0$ и $Z_1 - Z_2=0$, получим

$$p_2 = (1+\zeta'_1)\rho\frac{W_1^2}{2}. \qquad (13.57)$$

Скорость W_1 найдем из уравнения расхода

$$(A_0 - A_в)\,d\xi = \varepsilon'_1 a\, W_1 dt, \qquad (13.58)$$

где $A_0 = \frac{\pi D^2}{4}$ — площадь цилиндра;

ξ — путь наката;

ε'_1 — коэффициент сужения струи.

Из последнего выражения

$$W_1 = \frac{A_0 - A_в}{\varepsilon'_1 a}\cdot\frac{d\xi_1}{dt} = \frac{A_0 - A_в}{\varepsilon'_1}\cdot\frac{u}{a}, \qquad (13.59)$$

где $\frac{d\xi}{dt} = u$ — скорость наката,

Так как

$$A_в = A_р - a,$$

то

$$A_0 - A_в = A_0 - A_р + a = A'_т + a,$$

где $A'_т = A_0 - A_р$ — рабочая площадь поршня при накате. С учетом этого выражение (13.59) примет вид

$$W_1 = \frac{A'_т + a}{\varepsilon'_1} \cdot \frac{u}{a}. \qquad (13.60)$$

Подставив W_1 в формулу (13.57), получим

$$p_2 = \frac{1 + \zeta'_1}{(\varepsilon'_1)^2} \cdot \frac{\rho}{2} \left(\frac{A'_т + a}{a}\right)^2 u^2,$$

или

$$p_2 = \frac{к'_1 \rho}{2} \left(\frac{A'_т}{a} + 1\right)^2 u^2, \qquad (13.61)$$

где $к'_1 = \frac{1 + \zeta'_1}{(\varepsilon'_1)^2}$ — коэффициент сопротивления струи жидкости для рассматриваемого потока.

Запишем уравнение Бернулли для потока жидкости, вытесняемой из полости штока через канавки переменной глубины (сечения *3′—3*):

$$\frac{W_3^2}{2} + \frac{p_3}{\rho} + gZ_3 = (1 + \zeta'_3) \frac{(W'_3)^2}{2} + \frac{p'_3}{\rho} + gZ'_3.$$

Принимая $W_3 = 0$, $p_3 = 0$ и пренебрегая разностью высот потоков $Z_3 - Z'_3$, получаем

$$p_3 = \frac{1 + \zeta'_3}{2} \rho (W'_3)^2. \qquad (13.62)$$

Скорость W'_3 находим из уравнения расхода:

$$A_{тн} d\xi = \varepsilon'_3 a_{тн} W'_3 dt,$$

откуда

$$W'_3 = \frac{1}{\varepsilon'_3} \frac{A_{тн}}{a_{тн}} \cdot \frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{\varepsilon'_3} \frac{A_{тн}}{a_{тн}} u, \qquad (13.63)$$

где $a_{тн}$ — площадь канавок штока.

Подставив значение скорости W'_3 в выражение (13.62), получим

$$p_3 = \frac{1 + \zeta'_3}{(\varepsilon'_3)^2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{A_{тн}^2}{a_{тн}^2} u^2 = к'_3 \frac{\rho}{2} \cdot \frac{A_{тн}^2}{a_{тн}^2} u^2, \qquad (13.64)$$

где $к'_3 = \frac{1 + \zeta'_3}{(\varepsilon'_3)^2}$ — коэффициент сопротивления струи.

Формулу для силы тормоза при накате в конечном виде получим, подставив значения p_2 и p_3 в выражение (13.56):

$$\Phi_{н} = \frac{к'_1 \rho}{2} A'_{т} \left(\frac{A'_{т}}{a} + 1 \right)^2 u^2 + \frac{к'_3 \rho}{2} \cdot \frac{A^3_{тн}}{a^2_{тн}} u^2, \qquad (13.65)$$

где

$$\frac{к'_1 \rho}{2} A'_{т} \left(\frac{A'_{т}}{a} + 1 \right)^2 u^2 = \Phi_{он};$$

$$\frac{к'_3 \rho}{2} \cdot \frac{A^3_{тн}}{a^2_{тн}} u^2 = \Phi_{тн}.$$

Коэффициенты сопротивления струи изменяются в пределах:

$$к'_1 = к = 1{,}2 \div 1{,}4;$$

$$к'_3 = 1{,}5 \div 1{,}7.$$

Полагая

$$\left(\frac{A'_{т}}{a} + 1 \right)^2 A'_{т} \approx \frac{A'^3_{т}}{a^2}$$

и обозначая

$$\frac{к_1 \rho A'^3_{т}}{2} = C_{он} \qquad (13.66)$$

и

$$\frac{к'_3 \rho A^3_{тн}}{2} = C_{тн}, \qquad (13.67)$$

получаем

$$\Phi_{он} = C_{он} \frac{u^2}{a^2} \qquad (13.68)$$

и

$$\Phi_{тн} = C_{тн} \frac{u^2}{a^2_{тн}}, \qquad (13.69)$$

где $C_{он}$ — характеристика тормоза отката при накате;

$C_{тн}$ — характеристика тормоза наката.

Сила $\Phi_{тн}$ и скорость наката u — величины, известные из расчета наката (см. далее), поэтому формула (13.69) применяется для расчета площади канавок штока.

Площадь канавок штока

$$a_{тн} = \frac{\sqrt{C_{тн}}}{\sqrt{\frac{\Phi_{тн}}{u^2}}}. \qquad (13.70)$$

Из геометрических соображений (рис. 13.18)

$$a_{тн} = nbh,$$

где n — число канавок;
b — ширина канавки;
h — глубина канавки.

Число канавок $n=2\div4$, располагают их в полости штока симметрично. Шириной канавок задаются, принимая ее постоянной в пределах $b=5\div10$ мм. Тогда для обеспечения переменной площади истечения $a_{тн}$ глубина канавок h должна быть переменной и равна

$$h=\frac{a_{тн}}{nb}. \qquad (13.71)$$

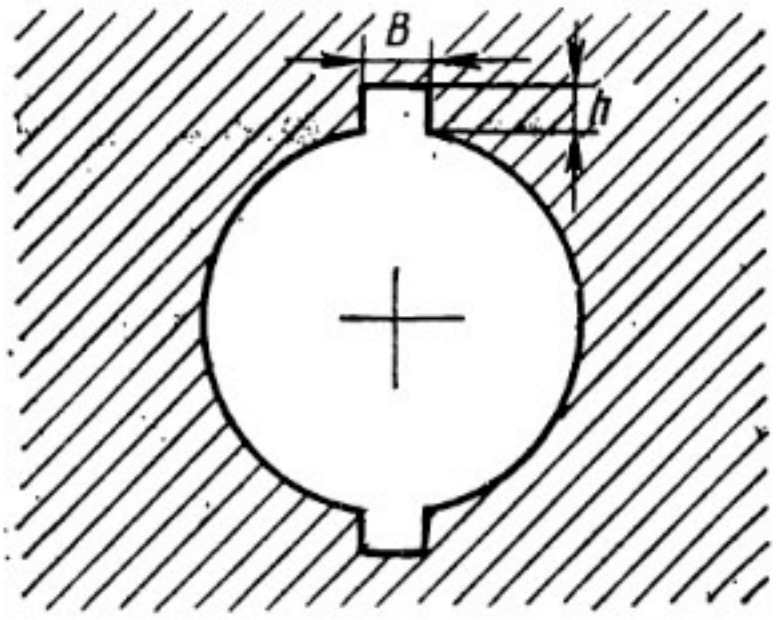


Рис. 13.18. Схема расположения канавок штока

В результате расчета профиль канавок штока может оказаться нетехнологичным (рис. 13.19). Поэтому его «сглаживают», т. е. приводят к форме, удобной для изготовления. Аналогично поступают и при расчете профиля веретена.

Изменение профиля регулирующих деталей тормоза влечет за собой изменение характеристик отката и наката: скорости, длины отката, силы гидравлического сопротивления тормоза. Поэтому после сглаживания профиля регулирующих деталей решаются

Рис. 13.19. К расчету профиля канавок штока

обратные задачи отката и наката. Их сущность заключается в определении характеристик отката и наката при уже известных площадях отверстий истечения.

Решение обратной задачи может быть связано с изменением и других условий, отличных от условий, при которых решалась прямая задача: изменение углов возвышения, применение других зарядов (силы $P_{кн}$) и т. д. Решение обратных задач отката и наката рассматриваться не будет.

Для расчета профиля веретена и канавок штока необходимо знать площади $A_т$, $A'_т$, $A_{тн}$ и $A_р$, которые входят в величину Z и характеристику $C_{тн}$.

Эти площади в свою очередь могут быть рассчитаны, если известны размеры диаметров цилиндра, штока и отверстия регулирующего кольца, т. е. известны геометрические размеры тормоза.

1. Размеры цилиндра тормоза. Рабочая площадь поршня определяется из опыта проектирования по формуле

$$A_т = \frac{\Phi_{max}}{p_{max}}. \qquad (13.72)$$

При принятом ранее законе для силы сопротивления откату максимальное значение силы тормоза отката будет в момент времени $t_д$ (рис. 13.1)

$$\Phi_{max} = R_{max} - П_д - R_f + Q_0 \sin \varphi_{пр}. \qquad (13.73)$$

Максимальное давление жидкости в рабочей полости цилиндра при откате принимают $p_{max} = (100 \div 250) \cdot 10^5$ Н/м². Так как $A_т = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ и $\frac{D}{d} = y$, то

$$D = \sqrt{\frac{4A_т}{\left(1 - \frac{1}{y^2}\right)\pi}}, \qquad (13.74)$$

где $y = 1{,}5 \div 2$ (берется из опыта проектирования).

Наружный диаметр цилиндра $D_н$ находят, задаваясь толщиной стенок. После этого проводится проверочный расчет цилиндра на прочность по второй теории прочности:

$$\sigma_{max} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2D_н^2 + D^2}{D_н^2 - D^2} p_{max} \leqslant [\sigma], \qquad (13.75)$$

где $[\sigma] = \frac{1}{3}\sigma_т$ — предела текучести.

2. Размеры штока. Наружный диаметр штока равен $d = \frac{D}{y}$. Диаметр полости штока d_1 находят из условия прочности штока на растяжение

$$\frac{\Phi_{max}}{\frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2)} \leqslant [\sigma],$$

откуда

$$d_1 = \sqrt{d^2 - \frac{4\Phi_{max}}{\pi[\sigma]}}, \qquad (13.76)$$

где $[\sigma] = \frac{1}{3}\sigma_т$.

3. Диаметр отверстия регулирующего кольца

$$d_р = d_1 - (2 \div 6) \text{ мм}$$

принимают из опыта проектирования.

4. Проверка веретена на устойчивость. Веретено можно рассматривать как длинный стержень, один конец которого

защемлен, а другой закреплен шарнирно и находится под действием сжимающей силы $\Phi_{\text{тн max}}$ (рис. 13.20).

Курс сопротивления материалов дает следующее значение критической силы, при которой такой стержень может потерять устойчивость:

$$P_{\text{кр}} = \frac{2\pi^2 EI}{l^2}, \qquad (13.77)$$

где E — модуль упругости;

I — экваториальный момент инерции сечения стержня.

Применительно к веретену $l = 1{,}1\ \lambda$ и

$$I = I_{\min} = \frac{\pi \delta_{\min}^4}{64}.$$

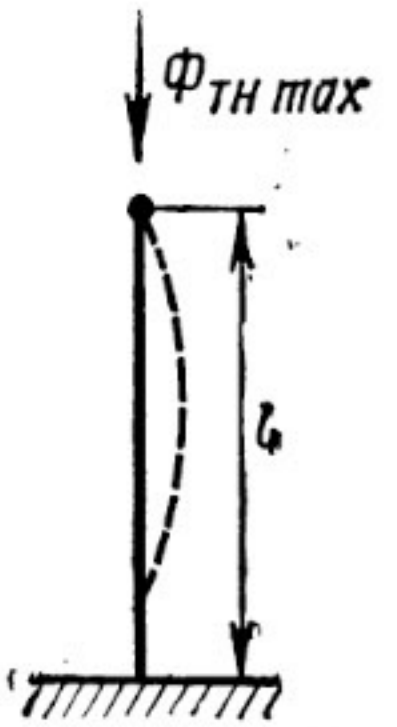


Рис. 13.20. Расчетная схема нагружения веретена

Минимальная площадь веретена вычисляется по формуле

$$\delta_{\min} = \sqrt{d_{\text{р}}^2 - \frac{4a_{\max}}{\pi}},$$

где

$$a_{\max} = \frac{A_{\text{пр}}}{\sqrt{Z_{\min} - 1}}.$$

Величину $Z_{\min}$ рассчитывают при $\left(\frac{\Phi}{V^2}\right)_{\min}$.

Из опыта проектирования запас устойчивости веретена η должен быть достаточно большим:

$$\eta = \frac{P_{\text{кр}}}{\Phi_{\text{тн max}}} = 5 \div 10. \qquad (13.78)$$

При расчетах силу $\Phi_{\text{тн max}}$ можно принять равной силе $\Phi_{\text{тн}}$ в конце первого периода наката (см. накат)

Рассмотрим тепловой режим тормоза при стрельбе.

Энергия, поглощенная тормозом отката при выстреле, превращается в тепло, что приводит к нагреву жидкости. Повышение температуры жидкости вызывает увеличение ее объема и уменьшение вязкости.

Увеличение объема жидкости без принятия специальных мер (применения компенсаторов, недолива жидкости) может приводить к недокатам ствола.

Уменьшение вязкости жидкости вызывает уменьшение силы гидравлического сопротивления тормоза (уменьшаются коэффициенты сопротивления к, $к_3$, $к_3'$), а это приводит к удлиненным откатам и резким накатам.

Нагрев жидкости выше 90° С может привести к резкому снижению ее вязкости, потере упругих свойств резиновых воротников уплотнений, выплавлению пропитки сальниковых уплотнений.

В силу сложности процессов теплообмена исследование теплового режима тормоза отката представляет собой весьма сложную задачу. Ее решение позволяет установить для данного орудия режимы огня, исходя из предельной температуры нагрева жидкости, рассчитать компенсатор жидкости и т. д.

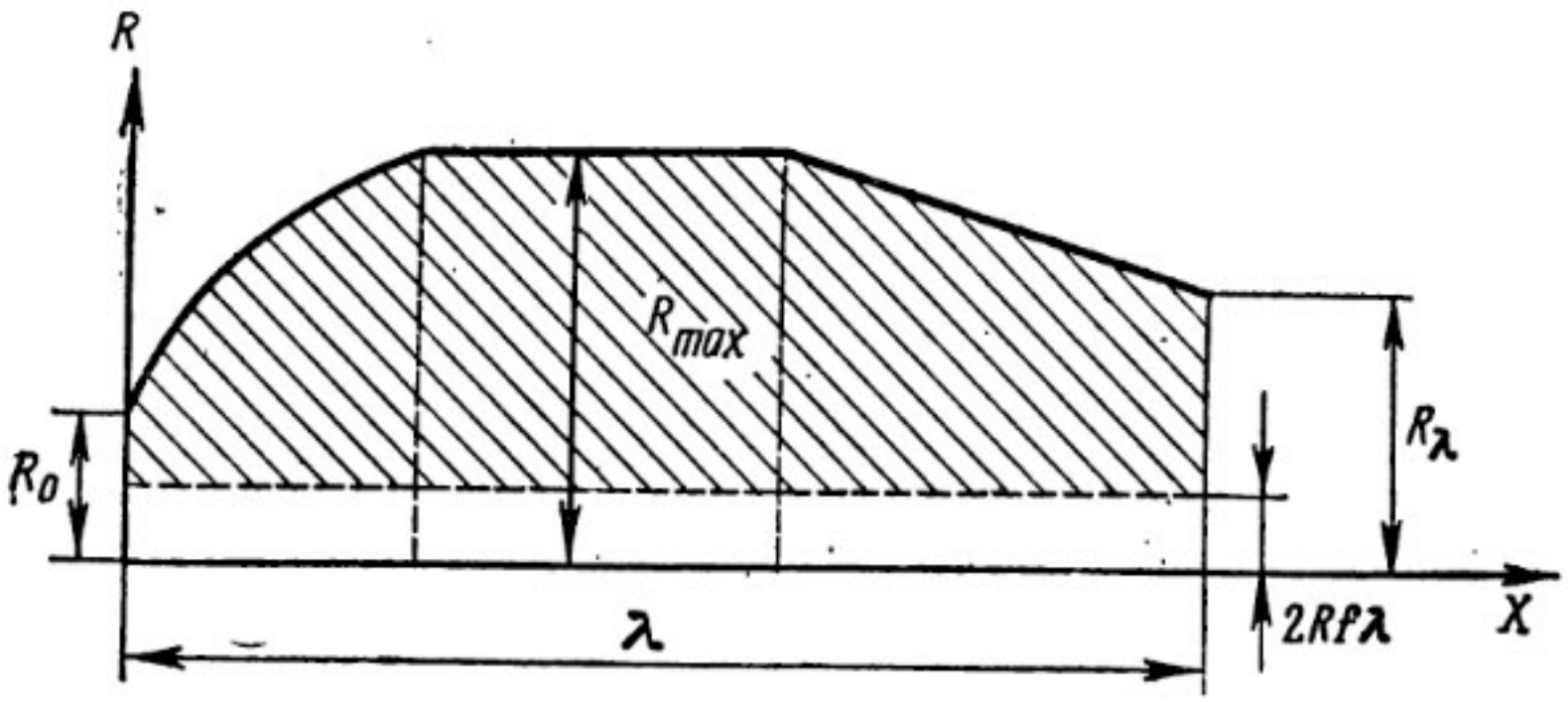


Рис. 13.21. Энергия, поглощенная тормозом отката при выстреле

Мы рассмотрим приближенное решение задачи. Основой расчета нагрева является определение повышения температуры жидкости за один выстрел. Полагая, что накатник энергию не поглощает, энергия, поглощенная тормозом за один выстрел, будет равна (рис. 13.21)

$$E = \int_0^\lambda R dX - 2R_f\lambda, \qquad (13.79)$$

где $2R_f\lambda$ — энергия, поглощенная силами трения за цикл откат — накат.

Количество тепла, поглощенное тормозом за один выстрел, с другой стороны, будет равно

$$Q = (C_ж m_ж + C_м m_м)\,\Delta t_1, \qquad (13.80)$$

где $C_ж$ и $C_м$ — теплоемкости жидкости и металлических деталей тормоза, $\frac{Дж}{кг \cdot град}$;

$m_ж$ и $m_м$ — масса жидкости и деталей тормоза отката;

Δt_1 — повышение температуры тормоза за один выстрел.

Из равенства энергии вытекает, что

$$E = (C_ж m_ж + C_м m_м)\,\Delta t_1.$$

Для серии выстрелов повышение температуры жидкости за один выстрел будет равно

$$\Delta t_1 = \frac{\eta E}{C_ж m_ж + C_м m_м}, \qquad (13.81)$$

где η — коэффициент, учитывающий потери тепла в атмосферу между выстрелами.

При скорострельности $\eta = 4 \frac{\text{выстр.}}{\text{мин}}$ приближенное значение $\eta = 0{,}8 \div 0{,}9$. У современных полевых орудий повышение температуры жидкости в тормозе отката достигает $\Delta t_1 = 0{,}5 \div 1^\circ$ С.

Температура жидкости после N выстрелов

$$t = t_0 + N\Delta t_1, \tag{13.82}$$

где t_0 — температура жидкости до выстрела.

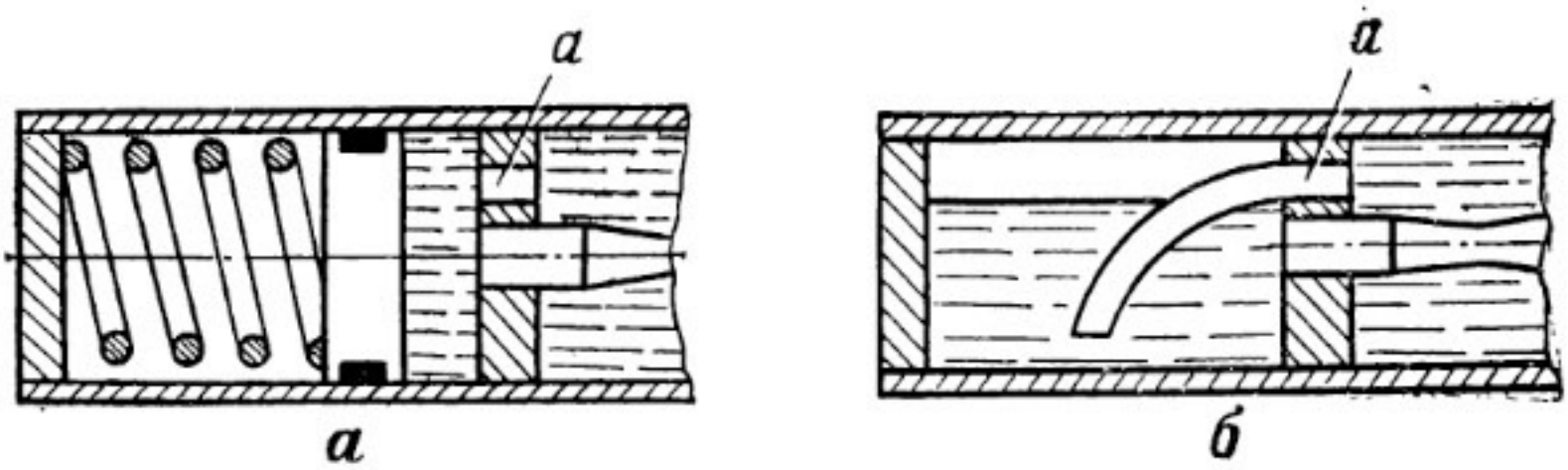


Рис. 13.22. Схемы компенсаторов жидкости:
а — пружинного; *б* — пневматического

Наибольшая температура жидкости $t = t_{пр}$ станет после числа выстрелов $N = N_{пр}$, которое находим из выражения (13.82):

$$N_{пр} = \frac{t_{пр} - t_0}{\Delta t_1} = \frac{\Delta t_{пр}}{\Delta t_1}. \tag{13.83}$$

Таким образом, одной из технических причин, лимитирующих режимы огня, является нагрев жидкости в тормозе до предельно допустимой температуры (другая причина — соответствующий нагрев стенок ствола). При расчетах принимают $t_{пр} = 90^\circ$ С для стеола М и $t_{пр} = 110^\circ$ С для веретенного масла.

Как отмечалось, повышение температуры жидкости при стрельбе в тормозе отката сопровождается увеличением ее объема. Отсутствие устройств, позволяющих компенсировать это увеличение объема, приводит к недокатам, так как объем цилиндра тормоза может быть увеличен только за счет выхода из него части штока, заполненного жидкостью.

Устройство, предназначенное для поддержания постоянства объема жидкости в тормозе отката при стрельбе, называется компенсатором. Конструктивно компенсаторы могут быть пружинными или пневматическими (рис. 13.22).

При нагревании и расширении вследствие интенсивной стрельбы или значительного повышения температуры окружающей среды избыток жидкости поступает в компенсатор из цилиндра через отверстие *а*, сжимая пружину или воздушную подушку компенсатора. После охлаждения под давлением пружины или воздуха жидкость возвращается в цилиндр тормоза. Помимо этого, при каждом выстреле вследствие изменения давления в нерабочей полости цилиндра происходит перетечка жидкости из компенсатора в цилиндр и обратно. Для уменьшения влияния пульсаций жидкости на работу тормоза во время отката и наката площадь

отверстия a делается небольшой. Влияние пульсаций жидкости может быть устранено постановкой клапана (рис. 13.23). При откате вследствие образования вакуума в нерабочей полости и силы пружины клапан закрывается; в конце наката поршень давит на стержень клапана, открывая его.

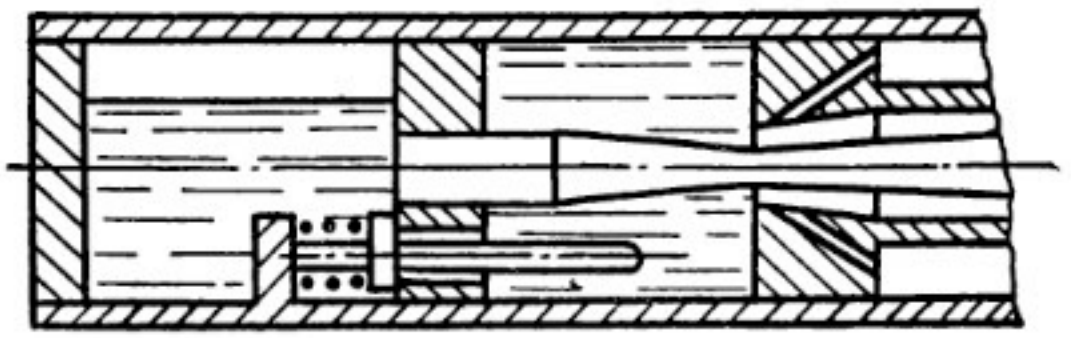


Рис. 13.23. Схема пневматического компенсатора с клапаном

Компенсатор должен вмещать предельный избыточный объем жидкости $\Delta w_{ж\,пр}$ при повышении ее температуры на $\Delta t_{пр}$:

$$\Delta w_{ж\,пр} = \beta_t w_ж \Delta t_{пр}, \tag{13.84}$$

где β_t — температурный коэффициент расширения жидкости;

$w_ж$ — объем жидкости в тормозе.

Зная предельный объем жидкости $\Delta w_{ж\,пр}$, перетекающей в компенсатор, найдем начальный объем воздуха w_0, который должен находиться в пневматическом компенсаторе до истечения в него жидкости. Для этого запишем дважды уравнение состояния газа в компенсаторе — начальное и конечное:

$$\left.\begin{aligned} p_0 w_0 &= RT_0, \\ p_{пр}(w_0 - \Delta w_{ж\,пр}) &= RT_{пр}, \end{aligned}\right\} \tag{13.85}$$

где p_0, w_0, T_0 — начальные значения давления, объема газа и температуры (до истечения жидкости);

$p_{пр}$ — предельно допустимое давление газа в компенсаторе;

$w_0 - \Delta w_{ж\,пр}$ — объем газа после поступления в компенсатор предельного избытка жидкости в тормозе;

$T_{пр} = T_0 + \Delta t_{пр}$ — предельная температура нагрева тормоза.

Разделив второе уравнение на первое и решая его относительно w_0, получим

$$w_0 = \frac{\Delta w_{ж\,пр}}{1 - \dfrac{T_{пр}}{T_0} \cdot \dfrac{p_0}{p_{пр}}}. \tag{13.86}$$

В камере компенсатора еще до стрельбы находится жидкость, объем которой принимают равным начальному объему воздуха $w_{ож} = w_0$. Тогда полный объем пневматического компенсатора

$$w_к = w_0 + w_{0\,ж} = 2w_0. \tag{13.87}$$

Предельное значение давления $p_{пр}$ в компенсаторе находят из следующих соображений.

При недокате давление в компенсаторе и в жидкости тормоза станет $p_{пр}$. На шток с поршнем в этом случае будет действовать равнодействующая

$$\Phi_{нед} = p_{пр} A_{шт}, \tag{13.88}$$

где $A_{шт} = \frac{\pi}{4} d^2$.

Для осуществления наката в наихудших условиях ($\varphi = \varphi_{max}$) начальная сила накатника должна преодолеть все тормозящие силы, т. е.

$$\Pi_0 \geqslant R_f + Q_0 \sin \varphi_{max} + \Phi_{нед},$$

откуда

$$\Phi_{нед} \leqslant \Pi_0 - R_f - Q_0 \sin \varphi_{max},$$

или

$$p_{пр} A_{шт} \leqslant \Pi_0 - R_f - Q_0 \sin \varphi_{max}.$$

Тогда

$$p_{пр} \leqslant \frac{\Pi_0 - R_f - Q_0 \sin \varphi_{max}}{A_{шт}}. \tag{13.89}$$

Величина $p_{пр}$ служит основой для расчета пружины в случае применения компенсатора пружинного типа.

В тормозах отката при отсутствии компенсатора предусматривается недолив жидкости, равный w_0, который составляет около 2—3% полного ее объема.

§ 13.3. НАКАТ СТВОЛА

Равнодействующая всех сил, приложенных к откатным частям при накате, равна

$$r = \Pi - R_f - Q_0 \sin \varphi - \Phi_н.$$

Сила накатника Π является движущей силой, остальные силы будут тормозящими.

Обозначим через

$$\Pi' = \Pi - R_f - Q_0 \sin \varphi. \tag{13.90}$$

С учетом формулы для силы трения сила Π' равна

$$\Pi' = \Pi - Q_0 (f \cos \varphi + \nu + \sin \varphi). \tag{13.91}$$

Силу Π' называют накатывающей силой, или избыточной силой накатника, что объясняется следующим.

Ранее было показано, что для надежного удержания откатных частей в переднем положении начальная сила накатника должна быть равна составляющей веса и сил трения либо несколько больше ее, т. е.

$$\Pi \geqslant R_f + Q_0 \sin \varphi,$$

или

$$\Pi \geqslant Q_0 (f \cos \varphi + \nu + \sin \varphi) = \text{const}.$$

Для осуществления наката было бы достаточно, чтобы накатник обладал этой постоянной для каждого данного угла возвышения ствола силой на всей длине наката. В этом случае избыточная сила накатника была бы равна нулю (см. формулу (13.91). Так как закон изменения силы накатника имеет другой характер, то действительная сила накатника больше необходимой для осущест-

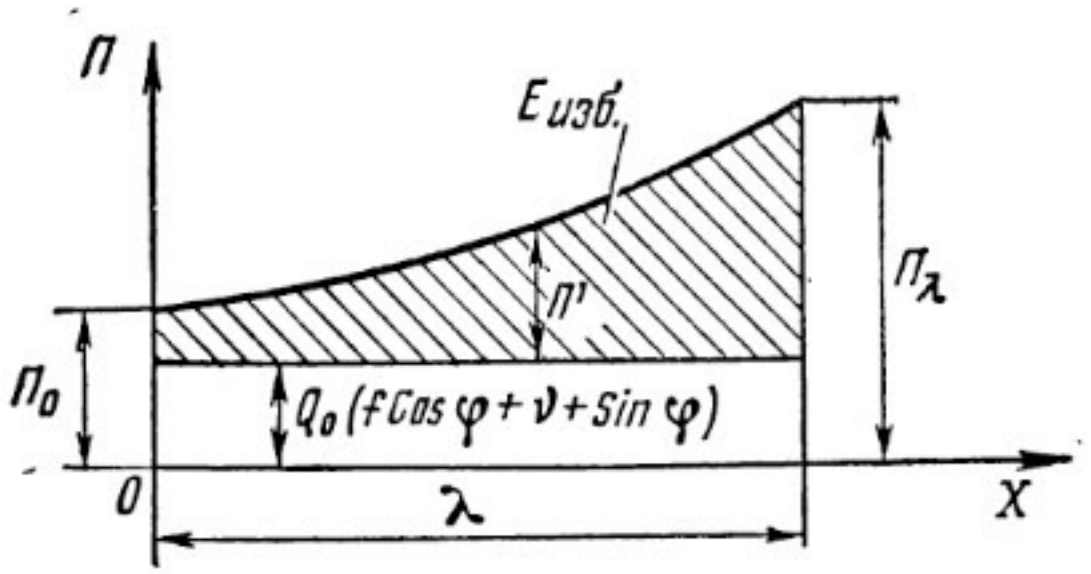


Рис. 13.24. График избыточной силы накатника

вления наката. Поэтому накатник обладает избыточной силой П′ (рис. 13.24). Эта избыточная сила сообщает откатным частям избыточную энергию $E_{изб}$ (заштрихованная площадь на рис. 13.24), которую должен поглотить при накате тормоз. Величина избыточной силы и избыточной энергии, как следует из формулы (13.91), будет наименьшей при $\varphi = \varphi_{max}$ и наибольшей при $\varphi = \varphi_{min}$. Условия работы тормоза при накате будут наихудшими при $\varphi = \varphi_{min}$, так как в этом случае тормоз должен поглотить наибольшее количество избыточной энергии. Для ее поглощения тормоз должен совершить большую работу, что связано с возникновением больших усилий на детали и наихудших условий для устойчивости орудия. Так как стрельба при $\varphi = \varphi_{min}$ ведется редко, расчет наката производят при $\varphi = 0$. В этом случае избыточная сила накатника

$$\Pi' = \Pi - R_f, \qquad (13.92)$$

где $R_f = Q_0 (f + \nu)$.

С учетом сказанного равнодействующая при накате

$$r = \Pi' - \Phi_н = \Pi' - \Phi_{он} - \Phi_{тн}. \qquad (13.93)$$

В зависимости от значения равнодействующей $r \lessgtr 0$ накат может быть ускоренным, равномерным и замедленным. Схема наката представляет собой сочетание этих периодов, причем период равномерного наката в схеме может отсутствовать. На практике могут быть двух-, трех-, четырех- и пятипериодные схемы наката.

При выборе схемы наката исходят из следующих общих требований: полного поглощения энергии откатных частей при накате; обеспечения устойчивости и прочности орудия; плавного изменения силы тормоза наката $\Phi_{тн}$, а следовательно, и плавного изменения

профиля канавок штока; обеспечения минимального времени наката.

Применение конкретной схемы зависит от типа орудия и типа тормоза отката.

Для орудий с большим запасом устойчивости и тормозом канавочного или шпоночного типа применяется простейшая двухпериодная схема наката (рис. 13.25).

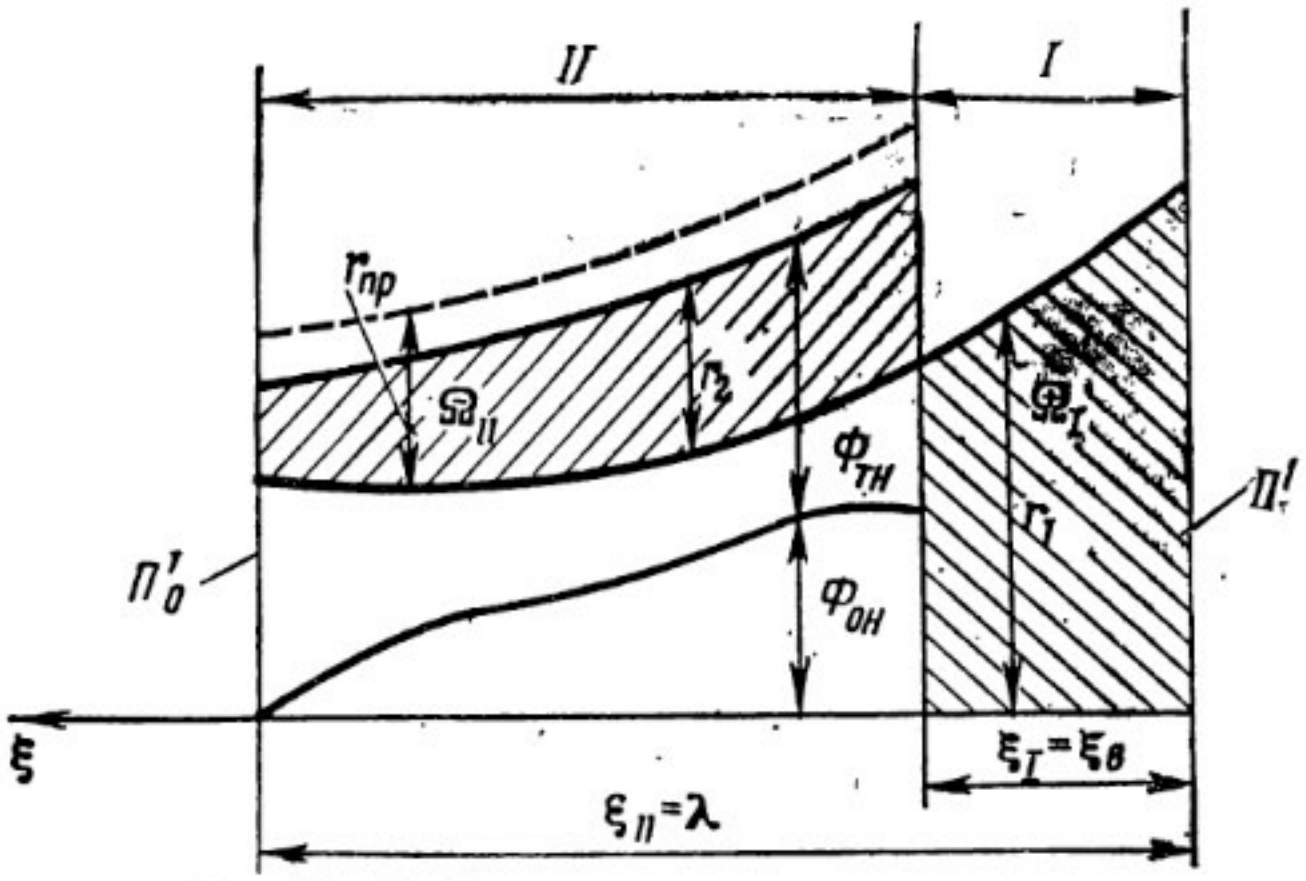


Рис. 13.25. Двухпериодная схема наката

Для графического суммирования всех сил на схемах наката тормозящие силы $\Phi_{он}$ и $\Phi_{тн}$ откладываются последовательно в положительном направлении.

В первом периоде двухпериодной схемы на пути до выбора вакуума сила тормоза $\Phi_н=0$ и равнодействующая $r_1=\Pi'>0$; накат будет ускоренным. Откатные части получат энергию, равную работе силы Π' или площади Ω_I.

Во втором периоде после выбора вакуума возникнет сила $\Phi_н=\Phi_{он}+\Phi_{тн}$. Равнодействующая $r_2=\Pi'-\Phi_н<0$; накат будет замедленным. Работа равнодействующей во втором периоде равна площади Ω_{II}. Условие полного поглощения энергии при накате

$$\Omega_{II}=\Omega_I.$$

Недостаток схемы: вступление в действие тормоза в момент выбора вакуума $\xi_в$ при больших скоростях наката $u_в=u_{max}$ может вызвать «клевок» орудия.

Для других типов тормозов применяются более сложные схемы наката. Для полевых орудий с тормозом отката веретенного типа наиболее широко применяется пятипериодная схема наката (рис. 13.26), предложенная проф. А. А. Толочковым.

По этой схеме в первом периоде откат ускоренный, во втором и четвертом — равномерный, в третьем и пятом — замедленный. Главной задачей расчета наката является определение скорости наката $u=f(\xi)$ и силы тормоза наката $\Phi_{тн}=f(\xi)$, необходимых для

вычисления площади канавок штока. Расчет ведется по периодам наката.

Первый период — ускоренного отката. Скорость откатных частей возрастает от $u=0$ до $u=u_{max}$.

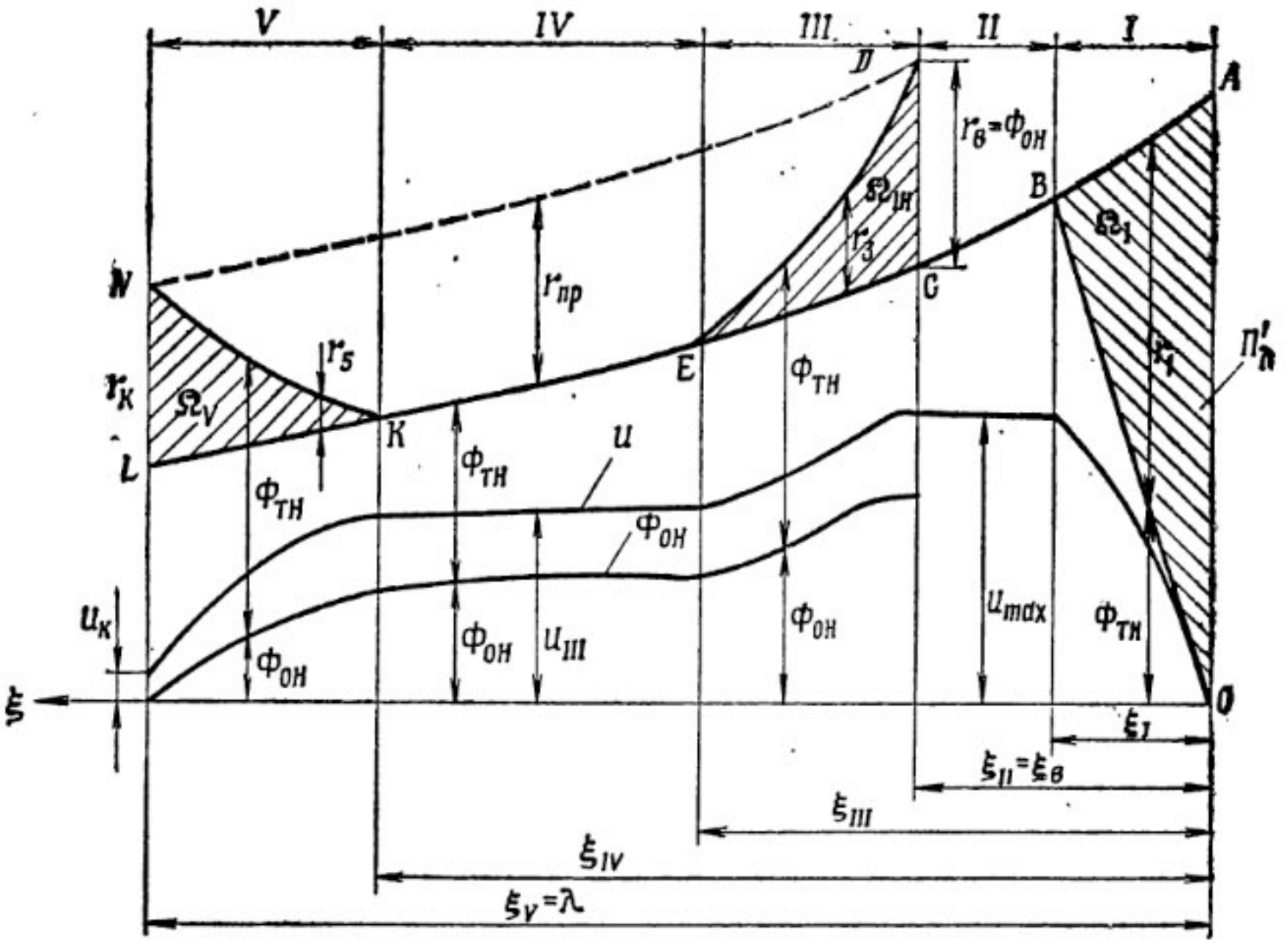


Рис. 13.26. Пятипериодная схема наката

а) Путь наката ξ_I к концу периода находится из площади $\triangle OAB$ (рис. 13.27), которая равна работе силы r_1, затрачиваемой на сообщение откатным частям кинетической энергии:

$$\xi_I \frac{\Pi'_\lambda}{2} = \frac{M_0 u_{max}^2}{2},$$

откуда

$$\xi_I = \frac{M_0 u_{max}^2}{\Pi'_\lambda}. \qquad (13.94)$$

Так как второй период отката равномерный ($r=0$ и $\Pi'=\Phi_{тн}$), то в начале третьего периода (к моменту выбора вакуума) скорость наката будет также u_{max}. С увеличением длины первого периода скорость u_{max} будет возрастать. Тогда в начале третьего периода, когда возникнет сила $\Phi_{он}=r_в$, может быть нарушено условие устойчивости, т. е. окажется

$$\Phi_{он} = r_в = C_{он} \frac{u_{max}^2}{a_в^2} > r_{пр}. \qquad (13.95)$$

Поэтому путь наката ξ_I произвольно выбирать нельзя. При соблюдении условия $r_в \leqslant r_{пр}$ из выражения (13.95) квадрат скорости наката

$$u^2_{max} = \frac{r_в a^2_в}{C_{он}}. \qquad (13.96)$$

Подставив значение u^2_{max} в выражение (13.94), получим путь наката к концу первого периода:

$$\xi_I = \frac{M_0 r_в a^2_в}{C_{он} \Pi'_\lambda}. \qquad (13.97)$$

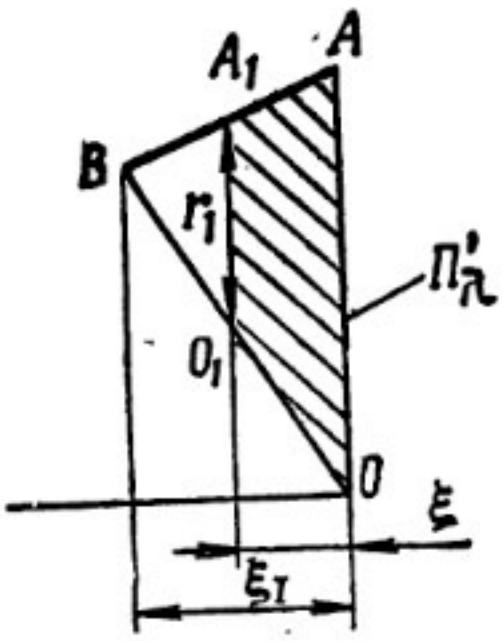


Рис. 13.27. К расчету первого периода наката

б) Равнодействующая в первом периоде находится из подобия треугольников $\triangle AOB \backsim \triangle A_1O_1B$ (рис. 13.27):

$$\frac{r_1}{\Pi'_\lambda} = \frac{\xi_I - \xi}{\xi_I},$$

откуда

$$r_1 = \Pi'_\lambda \left(1 - \frac{\xi}{\xi_I}\right). \qquad (13.98)$$

Задаваясь в выражении (13.98) значением ξ, получим значение r_1.

в) Квадрат скорости наката u^2 находят, применяя теорему об изменении количества движения: площадь трапеции OAA_1O_1 численно равна работе силы r_1 и изменению кинетической энергии откатных частей:

$$\frac{M_0 u^2}{2} = \frac{\Pi'_\lambda + r_1}{2} \xi,$$

откуда

$$u^2 = \frac{\Pi'_\lambda + r_1}{M_0} \xi. \qquad (13.99)$$

г) Сила тормоза наката из графических соображений равна

$$\Phi_{тн} = \Pi' - r_1. \qquad (13.100)$$

д) Продолжительность первого периода определяем приближенно из выражения

$$t_{\text{I}} u_{\text{ср}} = \xi_{\text{I}},$$

где

$$u_{\text{ср}} = \frac{u_{\max}}{2}.$$

Тогда

$$t_{\text{I}} = \frac{2\xi_{\text{I}}}{u_{\max}}. \qquad (13.101)$$

Второй период — равномерного наката со скоростью $u_{\max}$ до момента выбора вакуума $\xi_{\text{в}}$. Так как $r_2 = 0$, то сила тормоза наката в этом периоде

$$\Phi_{\text{тн}} = \text{П}'. \qquad (13.102)$$

Продолжительность второго периода

$$t_{\text{II}} = \frac{\xi_{\text{в}} - \xi_{\text{I}}}{u_{\max}}. \qquad (13.103)$$

Третий период — торможенного наката. В этом периоде скорость наката падает от $u = u_{\max}$ до $u = u_{\text{III}}$.

а) Путь наката к концу третьего периода ξ_{III} находим из выражения

$$\Omega_{\text{III}} = \psi \Omega_{\text{I}},$$

т. е. из условия, что в третьем периоде поглощается только часть кинетической энергии, приобретенной откатными частями в первом периоде, где $\psi = 0{,}5 \div 0{,}7$ из практики проектирования. Тогда

$$\frac{\xi_{\text{III}} - \xi_{\text{в}}}{2} r_{\text{в}} = \psi \Omega_{\text{I}},$$

откуда

$$\xi_{\text{III}} = \xi_{\text{в}} + \frac{2\psi\Omega_{\text{I}}}{r_{\text{в}}}. \qquad (13.104)$$

б) Равнодействующая в третьем периоде (рис. 13.28) находится из подобия треугольников $\triangle CDE \backsim \triangle C_1 D_1 E$ (площадь Ω_{III} без существенных погрешностей для расчета можно рассматривать как треугольник):

$$\frac{r_{\text{з}}}{r_{\text{в}}} = \frac{\xi_{\text{III}} - \xi}{\xi_{\text{III}} - \xi_{\text{в}}},$$

откуда

$$r_{\text{в}} = r_{\text{в}} \frac{\xi_{\text{III}} - \xi}{\xi_{\text{III}} - \xi_{\text{в}}}. \qquad (13.105)$$

Задаваясь текущим значением пути ξ, из формулы (13.105) получим текущее значение равнодействующей $r_{\text{з}}$.

в) Квадрат скорости наката находят, применяя к откатным частям теорему об изменении кинетической энергии:

$$\frac{M_0 u_{\max}^2}{2} - \frac{M_0 u^2}{2} = \frac{r_з + r_в}{2}(\xi - \xi_в),$$

где правая часть — площадь трапеции CDD_1C_1 (работа силы $r_з$).

Тогда

$$u^2 = u_{\max}^2 - \frac{r_з + r_в}{M_0}(\xi - \xi_в). \qquad (13.106)$$

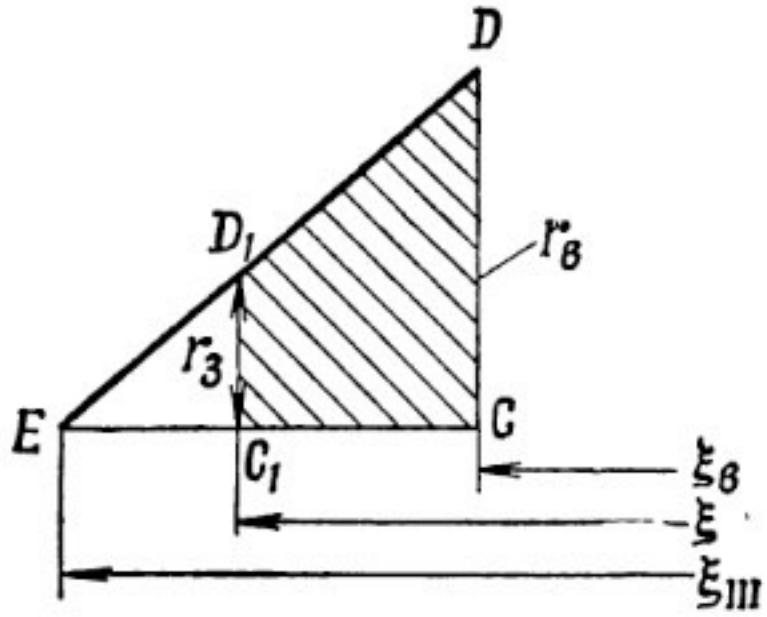


Рис. 13.28. К расчету третьего периода наката

Квадрат скорости наката в конце периода

$$u_{III}^2 = u_{\max}^2 - \frac{r_в}{M_0}(\xi_{III} - \xi_в). \qquad (13.107)$$

г) Сила тормоза наката из геометрических соображений будет равна

$$\Phi_{тн} = \Pi_з' + r_з - \Phi_{он}, \qquad (13.108)$$

где

$$\Phi_{он} = C_{он}\frac{u^2}{a^2}.$$

д) Продолжительность третьего периода

$$t_{III} = \frac{\xi_{III} - \xi_в}{u_{ср}}, \qquad (13.109)$$

где

$$u_{ср} = \frac{u_{III} + u_{\max}}{2}.$$

Четвертый период — равномерного наката со скоростью u_{III}.

а) Путь наката к концу четвертого периода находится в зависимости от длины пятого периода. Исходя из полного поглощения энергии к концу отката

$$\Omega_I = \Omega_{III} + \Omega_V,$$

откуда

$$\Omega_V = \Omega_I - \Omega_{III} = \Omega_I - \psi\Omega_I = (1-\psi)\,\Omega_I. \qquad (13.110)$$

Площадь Ω_V равна площади $\triangle KNL$ (рис. 13.29):

$$\Omega_V = \frac{r_к\,(\lambda - \xi_{IV})}{2}. \qquad (13.111)$$

Из последнего выражения следует, что с увеличением ξ_{IV} будет возрастать и значение равнодействующей в конце наката $r_к$ (при

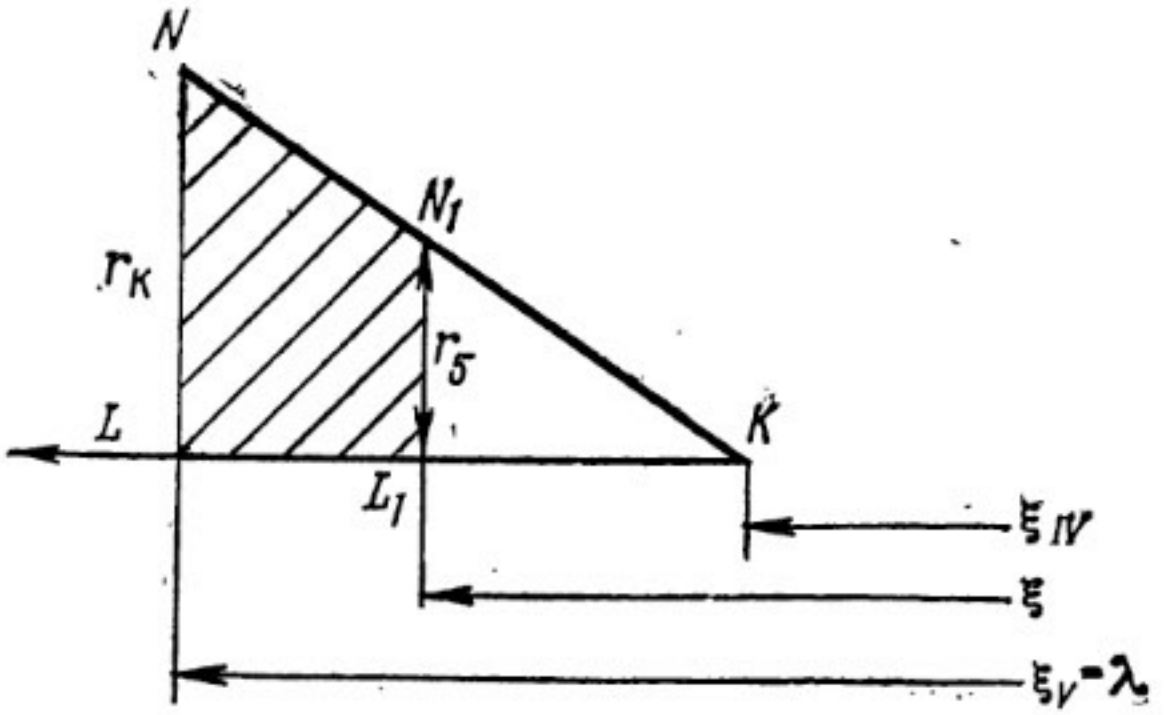


Рис. 13.29. К расчету пятого периода наката

$\Omega_V = \text{const}$). Однако величина $r_к$ ограничена условием устойчивости орудия при накате

$$r_к \leqslant r_{пр}.$$

Исходя из сказанного с учетом выражений (13.110) и (13.111) можно записать равенство

$$(1-\psi)\,\Omega_I = \frac{r_к\,(\lambda - \xi_{IV})}{2},$$

откуда

$$\xi_{IV} = \lambda - \frac{2(1-\psi)\,\Omega_I}{r_к}. \qquad (13.112)$$

б) Равнодействующая $r_4 = 0$, так как $u = u_{III} = \text{const}$.

в) Сила тормоза наката

$$\Phi_{тн} = \Pi' - \Phi_{он}. \qquad (13.113)$$

г) Скорость наката $u = u_{III}$.

д) Продолжительность четвертого периода

$$t_{IV} = \frac{\xi_{IV} - \xi_{III}}{u_{III}}. \qquad (13.114)$$

Пятый период — замедленного отката. В этом периоде скорость откатных частей падает от u_{III} до 0.

а) Путь отката к концу периода $\xi_V = \lambda$.

б) Равнодействующая в пятом периоде определяется из подобия треугольников $\triangle KN_1L_1 \backsim \triangle KNL$ (рис. 13.29):

$$\frac{r_б}{r_к} = \frac{\xi - \xi_{IV}}{\lambda - \xi_{IV}},$$

откуда

$$r_б = r_к \frac{\xi - \xi_{IV}}{\lambda - \xi_{IV}}. \qquad (13.115)$$

в) Квадрат скорости наката аналогично предыдущим рассуждениям находится из выражения

$$\frac{M_0 u^2}{2} = \frac{r_к + r_б}{2}(\lambda - \xi),$$

откуда

$$u^2 = \frac{r_к + r_б}{M_0}(\lambda - \xi). \qquad (13.116)$$

г) Сила тормоза наката

$$\Phi_{тн} = П' + r_б - \Phi_{он}. \qquad (13.117)$$

д) Продолжительность пятого периода

$$t_V = \frac{\lambda - \xi_{IV}}{u_{ср}}, \qquad (13.118)$$

где $u_{ср} = \frac{u_{III}}{2}$.

Общая продолжительность наката

$$T_н = \sum_1^5 t_i = t_I + t_{II} + t_{III} + t_{IV} + t_V. \qquad (13.119)$$

Площадь канавок штока $a_{тн}$ для всех периодов наката рассчитывается по формуле (13.70).

В заключение следует отметить следующее. Для надежности наката скорость откатных частей в конце наката на практике не должна быть равна нулю и составляет

$$u_к = u_\lambda = (0{,}05 \div 0{,}15) \text{ м/с}.$$

Если у существующих орудий наибольшая скорость отката $V_{max} = 10 \div 12$ м/с, то максимальная скорость наката $u_{max} = 1{,}8 \div 2{,}5$ м/с, т. е. отношение $\frac{V_{max}}{u_{max}} = 4 \div 5$. Отсюда, если время отката $T_{отк} = 0{,}1 \div 0{,}2$ с, то время наката $T_н = 1 \div 1{,}5$ с.

§ 13.4. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТИВООТКАТНЫХ УСТРОЙСТВ

Надежность и безопасность действия артиллерийского орудия, его боевая готовность в сильной степени зависят от состояния противооткатных устройств. Поддержание противооткатных устройств в исправном состоянии обеспечивается проведением ме-

роприятий, предусмотренных системой технического обслуживания вооружения. В ее основе лежат своевременные осмотры и устранение выявленных неисправностей, а также осуществление в установленные сроки периодических проверок вооружения.

Главная задача осмотра противооткатных устройств — выявление недостатков ухода и сбережения (содержания), механических повреждений деталей, неисправностей узлов крепления штоков и цилиндров, утечек жидкости и газа (нарушений герметичности).

Проверка противооткатных устройств включает проверку количества жидкости в тормозе, количества жидкости в накатнике, начального давления в накатнике. При этом одновременно проверяются антикоррозионные качества жидкости.

Ведущее место среди перечисленных мероприятий занимают вопросы, связанные с поддержанием в противооткатных устройствах номинального количества жидкости и давления газа. Отклонение их значений от нормы приводит к изменению силы тормоза и накатника, а следовательно, и к изменению элементов отката и наката (скорости и пути отката, скорости наката). Увеличение силы тормоза и накатника при этом может привести к потере устойчивости орудия и повреждению деталей. Количественная картина влияния различных отклонений объема жидкости в тормозе, объема жидкости и начального давления в накатнике на их работу может быть установлена только расчетом.

Рассмотрим качественную сторону вопроса.

Проверка количества жидкости в тормозе отката обычно производится при определенном угле возвышения ствола путем наблюдения за ее уровнем через отверстие, открываемое при проверке.

При недостатке количества жидкости в тормозе отката на начальном участке отката торможения не будет, скорость отката быстро возрастет. В момент вступления тормоза в работу вследствие большой скорости V резко возрастет сила тормоза Φ, что может привести к потере устойчивости орудия. Кроме того, недостаток жидкости влечет за собой удлиненный откат. При длине отката $\lambda > \lambda_{пред}$ возможен удар подвижных частей о неподвижные, приводящий к поломке деталей тормоза (срыв гаек штоков, обрыв штоков и т. д.). При накате тормоз также будет позже включаться в работу, накат будет резким, со стуком. В этом случае опять же возможны потеря устойчивости орудия и поломка деталей.

Излишек жидкости у тормозов отката, имеющих вместо компенсатора свободный объем воздуха в цилиндре, приводит к недокату ствола. Недокат по мере нагрева жидкости и увеличения ее объема при стрельбе будет постоянно возрастать. В результате недоката нарушается нормальная работа тормоза при последующих откатах, а также могут произойти отказы в работе механизмов, приводимых в действие за счет энергии откатных частей в конце наката (полуавтоматика затвора и др.).

Проверка количества жидкости в накатнике производится с помощью искусственного отката ствола (поршня со штоком) и специального графика. Входными величинами в графике являются начальное давление в накатнике p_0 и давление p_l при оттянутом назад штоке с поршнем на строго определенную величину l, которые замеряются манометром. График строится следующим образом.

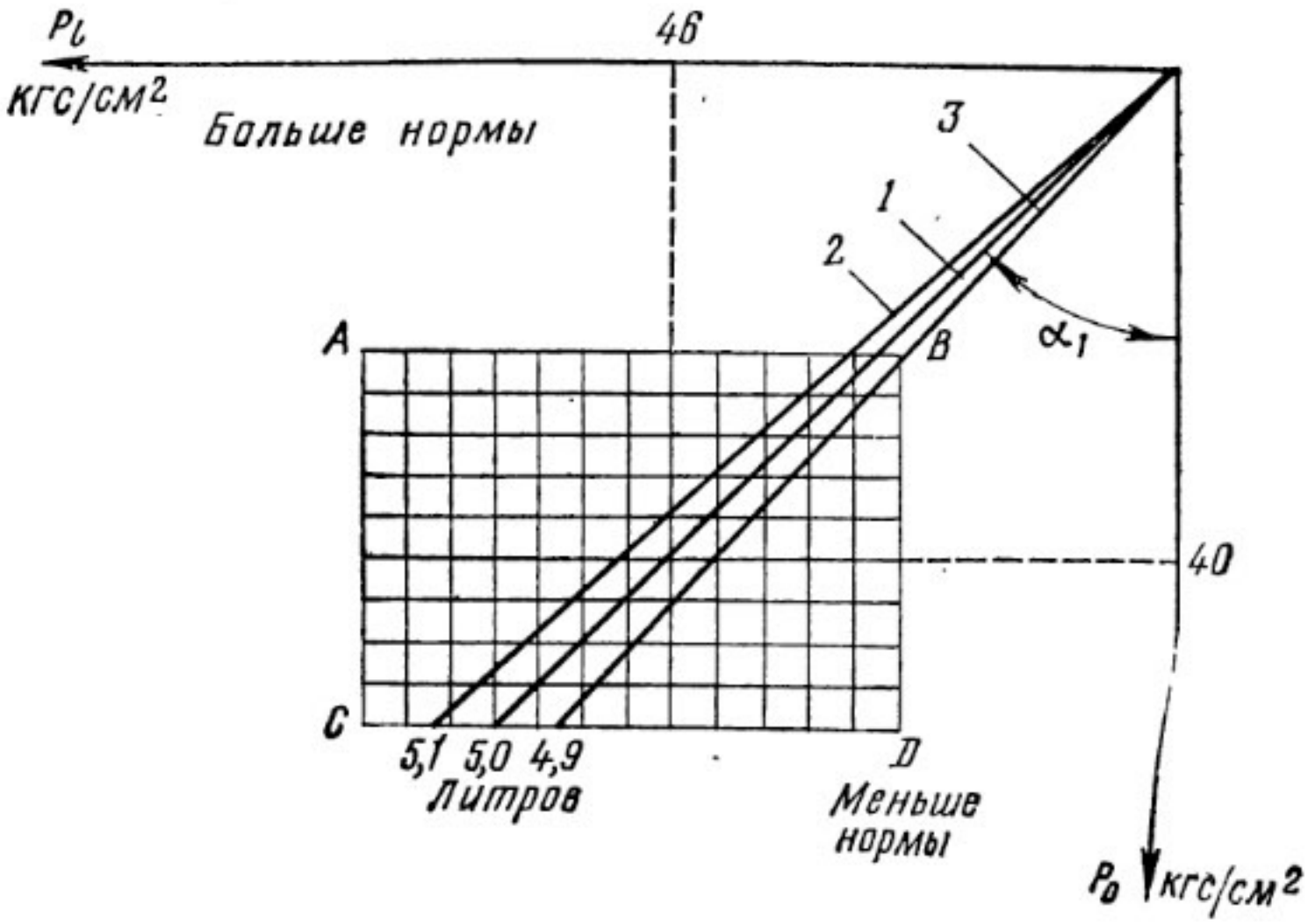


Рис. 13.30. Схема построения графика для определения количества жидкости в накатнике

Процесс сжатия газа в накатнике при искусственном откате можно рассматривать как изотермический, т. е.

$$p_0 W_0 = p_l W_l,$$

где W_l — объем газа при оттянутом поршне накатника.
Отсюда

$$p_l = p_0 \frac{W_0}{W_l} = p_0 \frac{W_0}{W_0 - A_н l}. \qquad (13.120)$$

Поделив числитель и знаменатель выражения (13.120) на $W_0 = W_н - W_ж$, где $W_н$ — объем накатника и $W_ж$ — объем жидкости в накатнике, получим

$$p_l = \frac{1}{1 - \frac{A_н l}{W_н - W_ж}} p_0 = к p_0, \qquad (13.121)$$

где $к = \frac{1}{1 - \frac{A_н l}{W_н - W_ж}}$ — коэффициент, зависящий только от количества жидкости в накатнике.

Выражение $p_l = к p_0$ представляет собой уравнение прямой, проходящей через начало координат с углом наклона $\alpha = \operatorname{arctg} к$ (рис. 13.30).

При нормальном (расчетном) количестве жидкости в накатнике $W_{ж} = W_{ж\,расч}$ получим прямую *1* с углом наклона $\alpha_1 = \operatorname{arctg} к_{расч}$. Эта прямая представляет собой множество точек, соответствующих различным значениям p_0 и p_l в накатнике, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации при нормальном количестве жидкости.

Если жидкости в накатнике больше нормы, коэффициент к и угол наклона прямой α возрастают; если жидкости меньше нормы, к и α убывают. Таким образом, задаваясь различным количеством жидкости, можно построить график с семейством таких прямых.

Имея график при неизвестном количестве жидкости в накатнике, по координатам p_0 и p_l (измеренным при искусственном откате) строят точку, которая совпадает с прямой, соответствующей действительному количеству жидкости.

На практике строят всего три (или две) прямые: прямую *1* — для нормального количества жидкости; прямую *2* — для допустимого излишка жидкости; прямую *3* — для допустимой недостачи жидкости. В целях удобства работы с графиком (уменьшения размеров) на нем выделяют область *ABCD* для значений давлений, часто встречающихся на практике. Область *ABCD* разбивают на клетки с масштабом в одну-две атмосферы, прямые снабжают надписями, указывающими, какому количеству жидкости в накатнике они соответствуют (в литрах). В этом случае, сосчитав по горизонтали число клеток между прямыми *2—3*, можно определить масштаб одной клетки в литрах.

Для определения количества жидкости в накатнике по входным величинам (координатам) p_0 и p_l строят на графике точку, определяют число клеток от нее по горизонтали до прямой *1* и, зная масштаб клетки в литрах, рассчитывают количество недостающей или избыточной жидкости.

Накатники некоторых орудий для приближенного определения количества жидкости имеют смотровое очко. Избыток количества жидкости уменьшает начальный объем газа в накатнике, а следовательно, и его приведенную длину S_0. Тогда из выражения

$$П = П_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - X} \right)^n = П_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{X}{S_0}} \right)^n \qquad (13.122)$$

следует, что при избытке жидкости текущее значение силы накатника (рис. 13.31, кривая *2*) будет больше, чем при нормальном количестве жидкости (кривая *1*).

Таким образом, излишек количества жидкости в накатнике увеличивает избыточную энергию, аккумулируемую накатником в процессе отката на величину ΔE, что приводит к укороченному откату и резкому (ускоренному) накату. Соответственно недостаток количества жидкости в накатнике приводит к уменьшению избыточной энергии накатника и вызывает удлиненный откат и замедленный накат.

Начальное давление воздуха в накатнике проверяется с помощью манометров.

Повышение начального давления, как следует из выражения (13.122), вызывает увеличение силы накатника в процессе отката и, следовательно, его избыточной энергии на величину ΔE

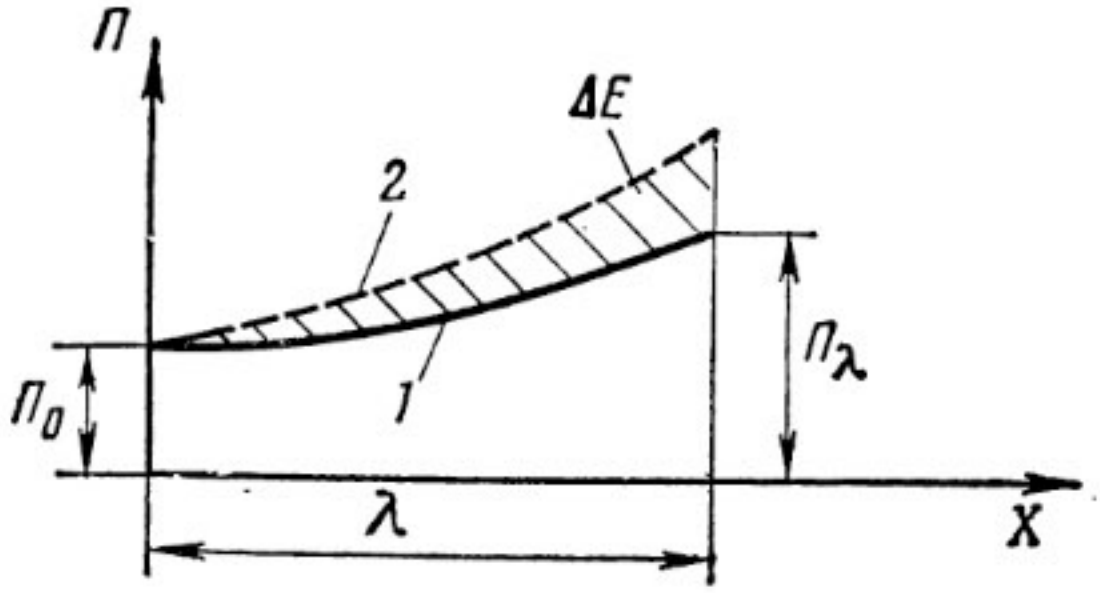


Рис. 13.31. Влияние избытка жидкости на силу и энергию накатника

(рис. 13.32). Увеличение избыточной энергии накатника приводит к укороченному откату и резкому накату.

Уменьшение начального давления в накатнике помимо противоположных явлений (удлиненный откат, замедленный накат) может привести к недокатам.

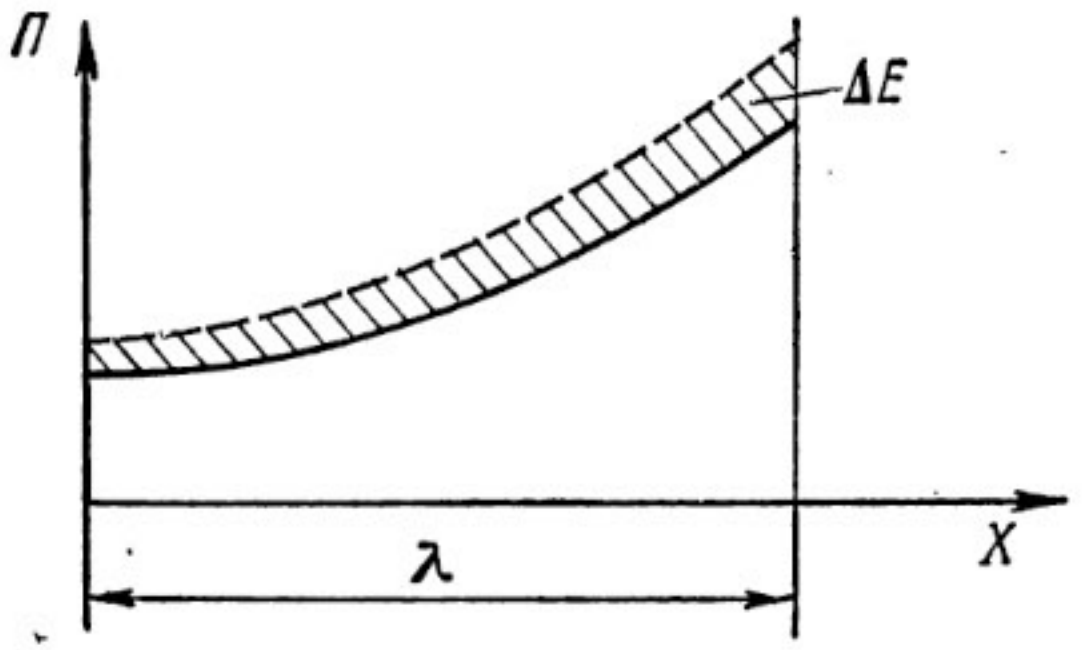


Рис. 13.32. Влияние увеличения начального давления на силу и энергию накатника

Чтобы обеспечить герметичность противооткатных устройств (исключить утечку жидкости и газа), применяются уплотнительные устройства. Уплотнение неподвижных разъемных соединений обычно достигается за счет постановки медных уплотнительных колец. В подвижных соединениях применяются уплотнительные устройства двух типов: воротниковые уплотнения, сальниковые уплотнения.

Основными элементами воротниковых уплотнений (рис. 13.33) являются эластичные (кожаные, резиновые или пластмассовые) воротники, опирающиеся с двух сторон на металлические надворотниковые и подворотниковые кольца.

Работа воротниковых уплотнений основана на принципе самоуплотнения (автоуплотнения) за счет прижатия воротника к обтюрируемой поверхности. Для прохода жидкости и создания давления на края воротников подворотниковые кольца имеют отверстия. Отсюда следует, что воротниковые уплотнения могут применяться как самостоятельные только там, где они постоянно находятся под достаточно высоким давлением (накатники, уравновешивающие механизмы).

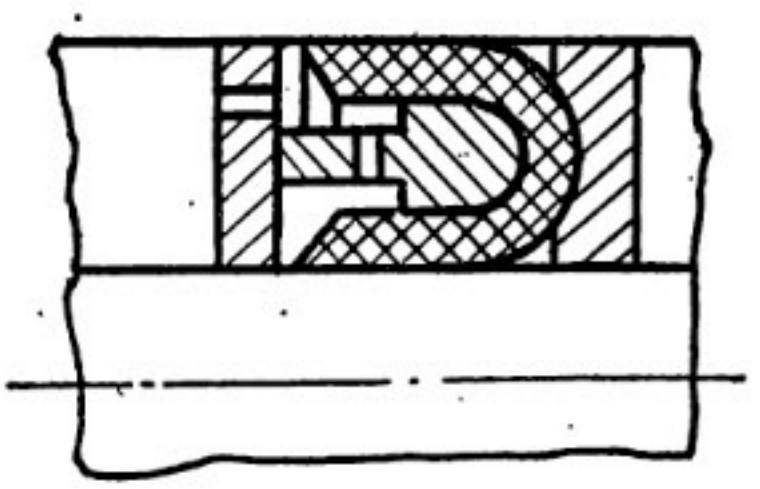


Рис. 13.33. Воротниковые уплотнения

Конструктивно воротниковые уплотнения имеют, как правило, один-два воротника. Постановка дополнительных воротников из-за снижения давления на них жидкости существенного эффекта в повышении обтюрирующих свойств не дает. Для обеспечения нормальной работы воротники не требуют предварительного поджатия, а резиновые должны иметь свободный ход в осевом направлении 0,5—2 мм. Поэтому течь жидкости через воротниковые уплотнения может быть устранена не дальнейшим поджатием воротников, а их заменой.

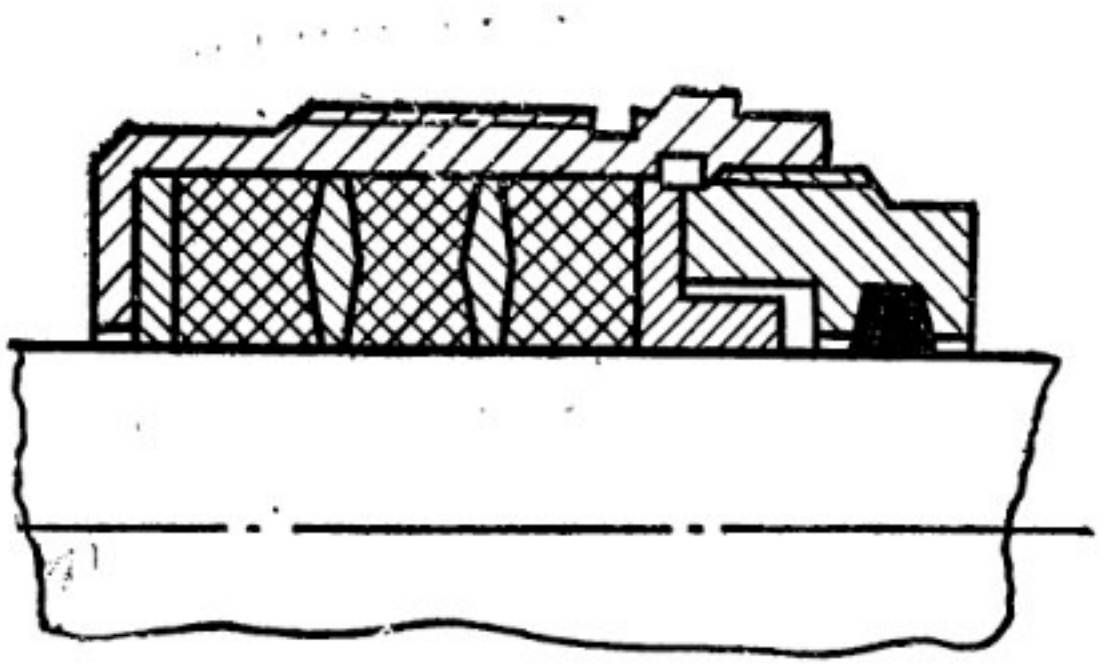


Рис. 13.34. Сальниковые уплотнения

Основным элементом сальниковых уплотнений является сальниковая набивка (рис. 13.34). Сальниковая набивка представляет собой спрессованный под давлением хлопчатобумажный или чаще асбестовый шнур, пропитанный смазкой из технического жира или церезиновым составом. Для осуществления обтюрации сальниковую набивку необходимо достаточно сильно поджимать гайкой сальника. Обладая пластическими свойствами, сальниковая набивка передает давление на обтюрируемую поверхность. Для более надежного прилегания набивки к обтюрируемой поверхности ее разделяют ромбовидными или трапецеидальными металлическими распорными кольцами. При относительно небольшом износе (истирании) набивки распорные кольца автоматически прижи-

мают набивку к уплотняемой детали. Сальниковые уплотнения применяются либо для герметизации объемов, в которых давление может отсутствовать (тормоза отката), либо в сочетании с воротниковыми уплотнениями. В последнем случае помимо герметизации они предохраняют воротники от повреждения пылью и песком.

Для устранения течи жидкости через сальниковую набивку в процессе эксплуатации ее необходимо поджимать гайкой. При этом следует иметь в виду, что в комбинированных уплотнениях воротники отделяются от сальниковой набивки уступом, чтобы при поджатии сальниковой набивки они не пережимались и не портились.

К жидкостям, применяемым для заполнения противооткатных устройств, предъявляются следующие основные требования:

— высокая температура кипения, высокая теплоемкость и малый коэффициент объемного расширения (для обеспечения высоких режимов огня);

— возможно меньшее изменение вязкости при изменении температуры жидкости (для обеспечения стабильности силы тормоза и длины отката);

— химическая и физическая стойкость в процессе длительной эксплуатации и хранения;

— отсутствие коррозионной активности и способности разрушать уплотнительные устройства (воротники, сальники).

В настоящее время в отечественной артиллерии применяются жидкости: веретенное масло и стеол М. Веретенное масло является продуктом перегонки нефти и должно иметь нейтральную реакцию. Стеол М представляет собой смесь жидкостей и имеет щелочную реакцию. Он состоит из следующих компонентов (в % по весу):

Глицерин	46,3
Этиловый спирт	20
Вода	32
Хромовокислый калий	1,6
Едкий натр	0,1

Глицерин обеспечивает требуемую вязкость жидкости, спирт — морозоустойчивость, хромовокислый калий и едкий натр являются антикоррозионными добавками (их наличие делает жидкость ядовитой).

Приведенные в табл. 13.2 данные показывают, что стеол М по сравнению с веретенным маслом обладает рядом преимуществ: имеет меньший коэффициент объемного расширения, большую удельную теплоемкость, более низкую температуру застывания.

Недостатком стеола М является низкая температура кипения. Однако этот недостаток смягчается тем, что благодаря высокой теплоемкости одно и то же количество теплоты вызовет меньший нагрев стеола М по сравнению с веретенным маслом.

Таблица 13.2

Характеристики	Размерность	Стеол М	Веретенное масло
Плотность	кг/дм³	1,09—1,10	0,89—0,90
Коэффициент объемного расширения	1/°С	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$
Удельная теплоемкость	кДж/кг·град	2,93	1,885
Температура застывания	°С	Ниже —57	—45
Температура кипения (при атмосферном давлении)	°С	89—92	350
Абсолютная вязкость при:	Н·с/м²		
—30°С		0,3890	4,282
—20°С		0,1443	1,153
—10°С		0,0661	0,3850
0°С		0,0297	0,1650
+25°С		0,0109	0,0400
+50°С		0,0037	0,0106
+80°С		0,0019	0,0048

Абсолютная вязкость обеих жидкостей, особенно веретенного масла, возрастает с понижением температуры. Это приводит к увеличению силы тормоза при откате и накате. Поэтому первые выстрелы при низких температурах окружающей среды $t = -20 \div -30°$ С рекомендуют производить на уменьшенных зарядах.

Для проверки стеола М на щелочную реакцию в войсках применяют крезол-красную бумагу. Стеол М следует употреблять только чистым, фильтруя его через марлю.

Веретенное масло, имеющее кислую либо щелочную реакцию, к употреблению непригодно.

Пример расчета противооткатных устройств

Исходные данные для расчета

Калибр . . . . . $d = 122$ мм
Масса орудия в боевом положении . . . $M_б = 3250$ кг
Масса откатных частей . . . . . $M_0 = 1250$ кг
Масса снаряда . . . . . $q = 22$ кг
Масса заряда . . . . . $\omega = 4$ кг
Максимальный угол возвышения ствола . $\varphi_{max} = 70°$
Плечо действия силы R при $\varphi_{пр} = 0$ . . . $h_{пр} = 1$ м
Плечо действия силы $Q_б$ . . . . . $D_0 = 3,2$ м
Плечо действия силы $N_{лб}$ . . . . . $L = 3,5$ м

Данные баллистического расчета ствола в момент максимального давления в канале:

Время . . . . . $t_m = 0,004$ с
Путь снаряда по каналу . . . . . $l_m = 0,36$ м
Скорость снаряда . . . . . $v_m = 280$ м/с

Данные баллистического расчета ствола в момент вылета снаряда из канала:

Время	$t_д = 0{,}01$ с
Путь снаряда	$l_д = 3{,}5$ м
Скорость снаряда	$v_д \approx v_0 = 680$ м/с
Дульное давление	$p_д = 58$ Н/мм²

Эффективность дульного тормоза $\xi = 0{,}51$.

I. Расчет свободного отката

А. Первый период

1. Скорость свободного отката в момент наибольшего давления пороховых газов

$$W_m = \frac{q + 0{,}5\omega}{M_0 + q + \omega} v_m = \frac{22 + 0{,}5 \cdot 4}{1250 + 22 + 4} \cdot 280 = 5{,}27 \text{ м/с.}$$

2. Путь свободного отката в момент наибольшего давления

$$L_m = \frac{q + 0{,}5\omega}{M_0 + q + \omega} l_m = \frac{22 + 0{,}5 \cdot 4}{1280 + 22 + 4} \cdot 0{,}36 = 0{,}0068 \text{ м.}$$

3. Скорость свободного отката в момент вылета снаряда из канала ствола

$$W_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{M_0 + q + \omega} v_д = \frac{22 + 0{,}5 \cdot 4}{1250 + 22 + 4} \cdot 680 = 12{,}8 \text{ м/с.}$$

4. Путь свободного отката в момент вылета снаряда

$$L_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{M_0 + q + \omega} l_д = \frac{22 + 0{,}5 \cdot 4}{1250 + 22 + 4} \cdot 3{,}5 = 0{,}066 \text{ м.}$$

Б. Второй период

5. Коэффициент действия пороховых газов при отсутствии дульного тормоза

$$\beta = \frac{1300}{v_0} = \frac{1300}{680} = 1{,}9.$$

6. Скорость свободного отката в конце второго периода при отсутствии дульного тормоза

$$W_{max} = W_\tau = \frac{q + \beta\omega}{M_0} v_0 = \frac{22 + 1{,}9 \cdot 4}{1250} \cdot 680 = 16{,}1 \text{ м/с.}$$

7. Скорость свободного отката в конце второго периода при наличии дульного тормоза

$$W_{\tau дт} = W_{max} \sqrt{1 - \xi} = 16{,}1 \sqrt{1 - 0{,}51} = 11{,}2 \text{ м/с.}$$

8. Импульсная характеристика дульного тормоза

$$\chi = \frac{W_{max}\sqrt{1-\xi} - W_д}{W_{max} - W_д} = \frac{16{,}1\sqrt{1-0{,}51} - 12{,}8}{16{,}1 - 12{,}8} = -0{,}485.$$

9. Сила давления пороховых газов

$$p_д = p_д S = 58 \cdot 11\,900 = 690\,000 \text{ Н},$$

где $S = к_S d^2 = 0{,}8 \cdot 122^2 = 11\,900$ мм².

10. Параметр закона последействия

$$b = \frac{M_0}{p_д}\left(W_{max} - W_д\right) = \frac{1250}{690000}(16{,}1 - 12{,}8) = 0{,}006 \text{ с}.$$

11. Продолжительность второго периода

$$\tau = 2{,}3b \lg \frac{p_д}{0{,}196} = 2{,}3 \cdot 0{,}006 \cdot \lg \frac{58}{0{,}196} = 0{,}034 \text{ с}.$$

12. Путь свободного отката в конце второго периода

$$L_{\tau\,дт} = L_д + W_д\tau + \frac{\chi b p_д}{M_0}(\tau - b) = 0{,}0066 + 12{,}8 \cdot 0{,}034 - \\ - \frac{0{,}485 \cdot 0{,}006 \cdot 69 \cdot 10^4}{1250}(0{,}034 - 0{,}006) = 0{,}456 \text{ мм}.$$

13. Скорость и путь свободного отката в периоде последействия для $t = 2b = 0{,}012$ с и $t = 4b = 0{,}024$ с (табл. 1)

$$W_{дт} = W_д + \chi \frac{b}{M_0} p_д \left(1 - l^{-\frac{t}{b}}\right),$$

$$L_{дт} = L_д + W_д t + \chi \frac{b}{M_0} p_д \left[t - b\left(1 - l^{-\frac{t}{b}}\right)\right].$$

II. Расчет торможенного отката

А. Первый период

1. Начальная сила сопротивления откату

$$R_0 = \Pi_0 + R_f - Q_0 \sin \varphi_{пр} = 17\,700 + 6120 + \\ + 1250 \cdot 9{,}8 \sin 0° = 23\,800 \text{ Н},$$

где

$$\Pi_0 = 1{,}1 M_0 g \left(\sin \varphi_{max} + f \cos \varphi_{max} + \nu\right) = \\ = 1{,}1 \cdot 1250 \cdot 9{,}81 \left(\sin 70° + 0{,}2 \cos 70° + 0{,}3\right) = 17\,700 \text{ Н}$$

— начальная сила накатника;

$Rf = M_0 g (f \cos \varphi_{пр} + \nu) = 1250 \cdot 9{,}81 (0{,}2 \cos 0° + 0{,}3) = 6120$ Н

— сила трения.

2. Максимальная сила сопротивления откату

$$R_{max} = ng\,\frac{M_6 D_0 - M_0 X_{\tau\,дт} - \cos\varphi_{пр}}{h_{пр}} =$$

$$= 0{,}95 \cdot 9{,}81\,\frac{3250 \cdot 3{,}2 - 1250 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}456\cos 0°}{1} = 93\,000 \text{ Н},$$

где $X_{\tau\,дт} = 0{,}8 L_{\tau\,дт}$.

3. Скорость отката в момент наибольшего давления пороховых газов

$$V_m = W_m - \frac{1}{M_0}\left(At_m - \frac{B}{к}\sin к t_m\right) = 5{,}27 - \frac{1}{1250}\times$$

$$\times\left(58\,400 \cdot 0{,}004 - \frac{34\,600}{314}\sin 314 \cdot 0{,}004\right) = 5{,}17 \text{ м/с},$$

где

$$A = \frac{R_{max} + R_0}{2} = \frac{93\,000 + 23\,800}{2} = 58\,400 \text{ Н};$$

$$B = \frac{R_{max} - R_0}{2} = \frac{93\,000 - 23\,800}{2} = 34\,600 \text{ Н};$$

$$к = \frac{\pi}{t_д} = \frac{3{,}14}{0{,}01} = 314.$$

4. Путь отката в момент наибольшего давления

$$X_m = L_m - \frac{1}{M_0}\left[\frac{At_m^2}{2} - \frac{B}{к^2}(1 - \cos к t_m)\right] = 0{,}0068 - \frac{1}{1250}\times$$

$$\times\left[\frac{58\,400 \cdot 0{,}004^2}{2} - \frac{34\,600}{314^2}(1 - \cos 314 \cdot 0{,}004)\right] = 0{,}0064 \text{ м}.$$

5. Сила сопротивления откату в момент наибольшего давления

$$R_m = A - B\cos к t_m = 58\,400 - 34\,600\cos 314 \cdot 0{,}004 = 47\,300 \text{ Н}.$$

6. Скорость отката в момент вылета снаряда из канала ствола

$$V_д = W_д - \frac{R_{max} + R_0}{2M_0} t_д = 12{,}8 - \frac{93\,000 + 23\,800}{2 \cdot 1250}\,0{,}01 = 12{,}33 \text{ м/с}.$$

7. Путь отката в момент вылета снаряда из канала

$$X_д = L_д - \frac{t_д^2}{M_0}(0{,}35R_0 + 0{,}15R_{max}) =$$

$$= 0{,}066 - \frac{0{,}01^2}{1250}(0{,}35 \cdot 23\,800 + 0{,}15 \cdot 93\,000) = 0{,}064 \text{ м}.$$

Б. Второй период

8. Скорость отката в конце второго периода

$$V_{\tau\,дт} = W_{\tau\,дт} - (W_д - V_д) - \frac{R_{max}}{M_0}\tau =$$

$$= 11{,}2 - (12{,}8 - 12{,}33) - \frac{93\,000}{1250}\,0{,}034 = 8 \text{ м/с.}$$

9. Путь отката в конце второго периода

$$X_{\tau\,дт} = L_{\tau\,дт} - (L_д - X_д) - (W_д - V_д)\,\tau - \frac{R_{max}}{2M_0}\tau^2 =$$

$$= 0{,}456 - (0{,}066 - 0{,}064) - (12{,}8 - 12{,}33)\cdot 0{,}034 -$$

$$- \frac{93\,000}{2\cdot 1250}\cdot 0{,}034^2 = 0{,}395 \text{ м.}$$

10. Скорость и путь отката для $t=2\,b=0{,}012$ с и $t=4\,b=0{,}024$ с (табл. 1)

$$V_{дт} = W_{дт} - (W_д - V_д) - \frac{R_{max}}{M_0}t;$$

$$X_{дт} = L_{дт} - (L_д - X_д) - (W_д - V_д)\,t - \frac{R_{max}t^2}{2M_0}.$$

В. Третий период

11. Длина отката

$$\lambda = \frac{B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2B} = \frac{20{,}4\cdot 10^4 - \sqrt{20{,}4^2\cdot 10^8 - 4\cdot 12\,250\cdot 15{,}9\cdot 10^4}}{2\cdot 12\,250} = 0{,}816 \text{ м,}$$

где

$$A = M_0 g\cos\varphi_{пр} = 1250\cdot 9{,}8\cdot\cos 0° = 12\,250 \text{ Н,}$$

$$B = 2M_6 g D_0 = 2\cdot 3250\cdot 9{,}8\cdot 3{,}2 = 204\,000 \text{ Нм,}$$

$$C = \frac{h_{пр}}{n}M_0 V^2_{\tau\,дт} + BX_{\tau\,дт} - AX^2_{\tau\,дт} = \frac{1}{0{,}95}\cdot 1250\cdot 8^2 +$$

$$+ 20{,}4\cdot 10^4\cdot 0{,}395 - 12\,250\cdot 0{,}395^2 = 159\,000 \text{ Нм}^2.$$

12. Сила сопротивления в конце отката

$$R_\lambda = ng\,\frac{M_6 D_0 - M_0\lambda\cos\varphi_{пр}}{h_{пр}} = 0{,}95\cdot 9{,}8\times$$

$$\times\frac{3250\cdot 3{,}2 - 1250\cdot 0{,}816\cdot\cos 0°}{1} = 87\,500 \text{ Н.}$$

13. Сила сопротивления откату при $X=0{,}5$ м, $X=0{,}6$ м, $X=0{,}7$ м (табл. 1)

$$R = R_\lambda + \frac{R_{max} - R_\lambda}{\lambda - X\tau}(\lambda - X) = 87\,500 +$$

$$+ \frac{93\,000 - 87\,500}{0{,}816 - 0{,}395}\,(0{,}816 - X) = 98\,100 - 14\,250X.$$

14. Квадрат скорости отката при $X=0{,}5$ м, $X=0{,}6$ м, $X=0{,}7$ м

$$V^2=\frac{1}{M_0}(R+R_\lambda)(\lambda-X)=\frac{1}{1250}(R+87\,500)(0{,}816-X).$$

15. Продолжительность третьего периода

$$t_{\text{ш}}=\frac{2M_0V_{\tau\,\text{дт}}}{R_{\max}+R_\lambda}=\frac{2\cdot1250\cdot8}{93\,000+87\,500}=0{,}111\ \text{с}.$$

16. Время отката

$$T_{\text{отк}}=t_{\text{д}}+\tau+t_{\text{ш}}=0{,}01+0{,}034+0{,}111=0{,}155\ \text{с}.$$

Таблица 1

Период отката	Время, с	W м/с	L м	X м	V м/с	V^2 м²/с²	R Н
I	0	0	0	0	0	0	23 800
	$t_m=0{,}004$	5,26	0,007	0,006	5,17	26,7	47 300
	$t_{\text{д}}=0{,}01$	12,8	0,066	0,064	12,33	152,0	93 000
II	$2b=0{,}012$	11,42	0,230	0,217	10,06	100,2	93 000
	$4b=0{,}024$	11,23	0,383	0,364	8,98	80,8	93 000
	$\tau=0{,}034$	11,2	0,456	0,395	8,00	64,0	93 000
III				0,500	6,72	45,1	91 000
				0,600	5,65	31,9	89 600
				0,700	4,04	16,3	88 100
				0,816	0	0	87 500

III. Расчет накатника

1. Конечная сила накатника

$$\Pi_\lambda=m\Pi_0=3\cdot17\,700=53\,200\ \text{Н},$$

где $m=3$ — степень сжатия.

2. Приведенная длина начального объема газа

$$S_0=\frac{\lambda}{1-\frac{1}{m^{\frac{1}{n}}}}=\frac{0{,}816}{1-\frac{1}{3^{\frac{1}{1{,}3}}}}=1{,}43\ \text{м},$$

где $n=1{,}3$ — показатель политроны.

3. Сила накатника для рассчитанных значений длины отката (табл. 2)

$$\Pi=\Pi_0\left(\frac{S_0}{S_0-X}\right)^n=17\,700\left(\frac{1{,}43}{1{,}43-X}\right)^{1{,}3}.$$

Таблица 2

X мм	0	0,006	0,064	0,217	0,364	0,395	0,500	0,600	0,700	0,816
П Н	17 700	18 000	18 800	21 900	25 900	26 900	31 500	36 300	42 500	53 200

4. Диаметр штока по канавке для выхода резца

$$d_к = \sqrt{\frac{4П\lambda}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 53\,200}{3{,}14 \cdot 210}} = 18 \text{ мм},$$

где $[\sigma]=210$ Н/мм² для стали 40Х.

Принимаем диаметр штока $d=25$ мм.

5. Рабочая площадь поршня

$$A_н = \frac{П_0}{p_0} = \frac{17\,700}{4{,}9} = 3610 \text{ мм}^2,$$

где

$$p_0 = 4{,}9 \text{ Н/мм}^2 \left(50 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}\right).$$

6. Внутренний диаметр рабочего цилиндра

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4A_н}{\pi}} = \sqrt{25^2 + \frac{4 \cdot 3610}{3{,}14}} = 72{,}3 \text{ мм}.$$

7. Наружный диаметр рабочего цилиндра

$$D_н = D\sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - 2p_{max}}} = 72{,}3\sqrt{\frac{210}{210 - 2 \cdot 24{,}5}} = 82{,}3 \text{ мм},$$

где

$$p_{max} = 24{,}5 \text{ Н/мм}^2 \left(250 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}\right);$$

$$[\sigma] = 210 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \text{ для стали 40Х.}$$

8. Проверка рабочего цилиндра на устойчивость формы:

$$p_{кр} = \frac{E}{4(1-\mu^2)}\left(\frac{\Delta p}{R}\right)^3 = \frac{2{,}16 \cdot 10^5}{4(1-0{,}3^2)}\left(\frac{5}{36{,}15}\right)^3 = 121 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Запас устойчивости

$$\frac{p_{кр}}{p_\lambda} = \frac{121}{14{,}7} = 8,$$

где $p_\lambda = mp_0 = 3 \cdot 4{,}9 = 14{,}7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ — давление в конце отката.

9. Начальный объем газа в накатнике

$$W_0 = S_0 A_н = 1430 \cdot 3610 = 5{,}17 \cdot 10^6 \text{ мм}^3 \ (5{,}2 \text{ л}).$$

10. Площадь сечения накатника, занятого газом:

$$F_0 = \frac{W_0}{l_н} = \frac{5{,}17 \cdot 10^6}{950} = 4900 \text{ мм}^2.$$

11. Значение функции

$$f(\varphi) = \frac{F_0}{H^2} = \frac{4900}{90^2} = 0{,}61,$$

где $H = D_н + Z_1 + Z_2 = 82{,}3 + 2{,}7 + 5 = 90$ мм.

Из табл. 13.1 $\varphi = 75°$.

12. Внутренний диаметр наружного цилиндра

$$D_ц = \frac{2H}{1 + \cos\varphi} = \frac{2 \cdot 90}{1 + \cos 75°} = 143 \text{ мм}.$$

13. Проверка наружного цилиндра на прочность при толщине стенок $\Delta_ц = 6$ мм. Напряжение в стенках цилиндра

$$\sigma = \frac{2}{3} p_{max} \frac{2R_{цн}^2 + R_ц^2}{R_{цн}^2 - R_ц^2} = \frac{2}{3} 24{,}5 \frac{2 \cdot 77{,}5^2 + 71{,}5^2}{77{,}5^2 - 71{,}5^2} = 285 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Коэффициент запаса прочности

$$n = \frac{\sigma_т}{\sigma} = \frac{540}{285} = 1{,}54,$$

где $\sigma_т = 540 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ для стали 40Х.

IV. Расчет тормоза отката веретенного типа

А. Расчет тормоза отката

1. Сила тормоза отката для рассчитанных значений X (табл. 3)

$$\Phi = R - П - R_f + M_0 g \sin\varphi_{пр} = R - П - 6120.$$

2. Отношение $\frac{\Phi}{V^2}$ (табл. 3).

3. Рабочая площадь поршня

$$A_т = \frac{\Phi_{max}}{p_{max}} = \frac{68\,100}{9{,}8} = 6950 \text{ мм}^2.$$

4. Внутренний диаметр цилиндра (поршня)

$$D = \sqrt{\frac{4A_т}{\pi\left(1 - \frac{1}{y^2}\right)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6950}{3{,}14\left(1 - \frac{1}{2^2}\right)}} = 110 \text{ мм},$$

где принятое значение $y = \frac{D}{d} = 2$.

5. Наружный диаметр цилиндра

$$D_н = D + 2\Delta = 110 + 2 \cdot 5 = 120 \text{ мм},$$

где $\Delta = 5$ мм задается.

Напряжение в стенках цилиндра

$$\sigma_{max} = \frac{2}{3} p_{max} \frac{2D_н^2 + D^2}{D_н^2 - D^2} = \frac{2}{3} \cdot 9{,}8 \cdot \frac{2 \cdot 120^2 + 110^2}{120^2 - 110^2} = 116 \text{ Н/мм}^2.$$

Коэффициент запаса прочности

$$n = \frac{\sigma_т}{\sigma} = \frac{540}{116} = 4{,}6,$$

где $\sigma_т = 540$ Н/мм² для стали 35Х.

6. Диаметр штока

$$d = \frac{D}{y} = \frac{110}{2} = 55 \text{ мм}.$$

Уточненное значение рабочей площади поршня

$$A_т = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{3{,}14}{4}(110^2 - 55^2) = 7120 \text{ мм}^2.$$

7. Диаметр полости штока

$$d_1 = \sqrt{d^2 - \frac{4\Phi_{max}}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{55^2 - \frac{4 \cdot 68\,100}{3{,}14 \cdot 180}} = 50{,}5 \text{ мм}.$$

Принимаем $\Delta = 4$ мм, $d_1 = 47$ мм.

8. Рабочая площадь тормоза наката

$$A_{тн} = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 47^2}{4} = 1735 \text{ мм}^2.$$

9. Площадь регулирующего очка

$$A_р = \frac{\pi d_р}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 41^2}{4} = 1320 \text{ мм}^2,$$

где $d_р = d_1 - 6 = 47 - 6 = 41$ мм.

10. Наименьшая площадь кольцевого зазора между веретеном и штоком (у рубашки модератора)

$$\Omega = A_{тн} - A_р = 1735 - 1320 = 415 \text{ мм}^2.$$

11. Условие заполняемости полости штока при откате

$$\Omega = 415 > \frac{A_{тн} \sqrt{\frac{к_з \rho}{2}(A_{пр} + A_{тн})}}{\sqrt{\left(\frac{\Phi}{V^2}\right)_{min}}} =$$

$$= \frac{1735 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{5 \cdot 1100}{2}(5800 + 1735) \cdot 10^{-6}}}{\sqrt{447}} = 374 \text{ мм}^2,$$

где $A_{пр} = A_т - A_р = 7120 - 1320 = 5800$ мм².

12. Величина (табл. 3)

$$Z = \frac{1}{A_{пр}}\left[\frac{2}{к_р}\left(\frac{Ф}{V^2}\right) - \frac{к_з}{к}\cdot\frac{A_{тн}^3}{\Omega^2}\right] =$$

$$= \frac{1}{5{,}80\cdot10^{-3}}\left[\frac{2}{1{,}3\cdot1100}\left(\frac{Ф}{V^2}\right) - \frac{5}{1{,}3}\cdot\frac{1{,}735^3\cdot10^{-9}}{0{,}415^2\cdot10^{-6}}\right] = 0{,}24\frac{Ф}{V^2} - 20.$$

13. Площадь кольцевого зазора между регулирующим кольцом и веретеном (табл. 3)

$$a = \frac{A_{пр}}{\sqrt{Z-1}} = \frac{5800}{\sqrt{Z-1}}.$$

14. Площадь переменного сечения веретена (табл. 3)

$$A_в = A_р - a = 1320 - a.$$

15. Диаметр веретена (табл. 3)

$$\delta = \sqrt{\frac{4A_в}{\pi}}.$$

При $X=0$ $\delta_ц = d_р - 2e_0 = 41 - 2\cdot1{,}5 = 38$ мм.

Таблица 3

X м	$Ф$ Н	$Ф/v^2$ Н·с²/м²	z	$\sqrt{z}$	a мм²	$A_в$ мм²	δ мм
0	0	0	—	—	—	—	38,0
0,006	23200	870	190	13,78	453	967	35,2
0,064	68100	447	88	9,37	693	627	28,25
0,217	65000	647	136	11,65	545	775	31,3
0,364	61000	755	162	12,72	495	825	32,4
0,395	60000	937	208	14,42	432	888	33,6
0,500	53400	1185	266	16,32	379	942	34,6
0,600	47200	1480	336	18,35	335	985	35,4
0,700	39500	2420	563	23,7	256	1064	36,8
0,816	28200	∞	∞	∞	0	1320	41,0

16. Проверка веретена на устойчивость.
Критическая сила

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 E I_{min}}{l^2} = \frac{2\cdot3{,}14^2\cdot2{,}16\cdot10^5\cdot32{,}5\cdot10^4}{900^2} = 17{,}2\cdot10^4 \text{ Н},$$

где

$$I_{min} = \frac{\pi\delta_{min}^4}{64} = \frac{3{,}14\cdot28{,}25^4}{64} = 3{,}25\cdot10^4 \text{ мм}^4;$$

$$l = 1{,}1\lambda = 1{,}1\cdot816 = 900 \text{ мм}.$$

Наибольшая сила тормоза наката

$$Ф_{тн\ max} = П_в - R_f = 37\,000 - 6100 = 3{,}09\cdot10^4 \text{ Н}.$$

Запас устойчивости

$$n = \frac{P_{кр}}{\Phi_{тн\ max}} = \frac{17{,}2 \cdot 10^4}{3{,}09 \cdot 10^4} = 5{,}6.$$

Б. Расчет тормоза наката

1. Путь наката в момент выбора вакуума

$$\xi_в = \frac{\lambda}{y^2} = \frac{0{,}816}{2^2} = 0{,}204 \text{ м}.$$

2. Предельное значение равнодействующей:
— в момент выбора вакуума

$$r_в = \eta g \frac{M_б (L - D_0) + M_0 (\lambda - \xi_в)}{H} =$$

$$= 0{,}5 \cdot 9{,}8 \frac{3250 (3{,}5 - 3{,}2) + 1250 (0{,}816 - 0{,}204)}{1} = 8550 \text{ Н};$$

— в конце наката

$$r_к = \eta g \frac{M_б (L - D_0)}{H} = 0{,}5 \cdot 9{,}8 \frac{3250 (3{,}5 - 3{,}2)}{1} = 4780 \text{ Н}.$$

3. Характеристика тормоза отката

$$C_{он} = \frac{к'_1 \rho A'^3_т}{2} = \frac{1{,}3 \cdot 1100 (8{,}18 \cdot 10^{-3})^3}{2} = 3{,}92 \cdot 10^{-4} \text{ кгм}^3,$$

где

$$A'_т = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_р^2) = \frac{3{,}14}{4} (0{,}11^2 - 0{,}041^2) = 8{,}18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

4. Характеристика тормоза наката

$$C_{тн} = \frac{к'_3 \rho A^3_{тн}}{2} = \frac{1{,}6 \cdot 1100 (1{,}735 \cdot 10^{-3})^3}{2} = 4{,}6 \cdot 10^{-6} \text{ кгм}^3.$$

Первый период

5. Путь наката к концу первого периода

$$\xi_I = \frac{M_0 r_в a_в^2}{C_{он} П'_\lambda} = \frac{1250 \cdot 8550 (325 \cdot 10^{-6})^2}{4{,}02 \cdot 10^{-4} \cdot 47\,100} = 0{,}060 \text{ м},$$

где $П'_\lambda = 53\,200 - 6100 = 47\,100$ Н.

6. Равнодействующая при $\xi = 0{,}030$ м

$$r_1 = П'_\lambda \left(1 - \frac{\xi}{\xi_I}\right) = 47\,100 \left(1 - \frac{0{,}030}{0{,}060}\right) = 23\,550 \text{ Н}.$$

7. Квадрат скорости наката:

— при $\xi = 0{,}030$ м

$$u^2 = \frac{\Pi'_\lambda + r_1}{M_0}\xi = \frac{47\,100 + 23\,550}{1250} \cdot 0{,}030 = 1{,}70 \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

— к концу первого периода

$$u^2_{max} = \frac{\Pi'_\lambda \xi_I}{M_0} = \frac{47\,100 \cdot 0{,}060}{1250} = 2{,}26 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

8. Сила тормоза наката:

— в конце периода

$$\Phi_{тн} = \Pi'_I = \Pi_I - R_f = 47\,500 - 6100 = 41\,400 \text{ Н},$$

где

$$\Pi_I = \Pi_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - X}\right)^n = 17\,700 \left(\frac{1{,}43}{1{,}43 - 0{,}756}\right)^{1{,}3} = 47\,500 \text{ Н};$$

$$X = \lambda - \xi_I = 0{,}816 - 0{,}060 = 0{,}756 \text{ м};$$

— при $\xi = 0{,}030$ м

$$\Phi_{тн} = \Pi'_\lambda \frac{\xi}{\xi_I} = 47\,100 \frac{0{,}030}{0{,}060} = 23\,550 \text{ Н}.$$

9. Площадь канавок штока:

— в конце периода

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u^2_{max}}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}26}{4{,}14 \cdot 10^4}} = 15{,}85 \text{ мм}^2;$$

— при $\xi = 0{,}030$ м

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u^2}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}70}{2{,}355 \cdot 10^4}} = 18{,}2 \text{ мм}^2.$$

10. Продолжительность первого периода

$$t_I = \frac{2\xi_I}{u_{max}} = \frac{2 \cdot 0{,}060}{1{,}50} = 0{,}080 \text{ с}.$$

Второй период

11. Сила тормоза наката при $\xi = \lambda - X = 0{,}816 - 0{,}700 = 0{,}116$ м

$$\Phi_{тн} = \Pi' = \Pi - R_f = 42\,500 - 6100 = 36\,100 \text{ Н}.$$

12. Площадь канавок штока:

— при $\xi = 0{,}116$ м

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u^2_{max}}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}26}{3{,}61 \cdot 10^4}} = 17 \text{ мм}^2;$$

— при $\xi_в = 0{,}204$ м

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u^2_{max}}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}26}{3{,}09 \cdot 10^4}} = 18{,}3 \text{ мм}^2.$$

13. Продолжительность второго периода

$$t_{II} = \frac{\xi_в - \xi_I}{u_{max}} = \frac{0{,}204 - 0{,}060}{1{,}50} = 0{,}096 \text{ с}.$$

Третий период

14. Путь наката к концу третьего периода

$$\xi_{III} = \xi_в + \frac{2\psi\Omega_I}{r_в} = 0{,}204 + \frac{2 \cdot 0{,}6 \cdot 1410}{8550} = 0{,}402 \text{ м},$$

где

$$\Omega_I = \frac{\Pi'_\lambda \xi_I}{2} = \frac{47\,100 \cdot 0{,}060}{2} = 1410 \text{ Нм}.$$

15. Равнодействующая при $\xi = \lambda - X = 0{,}816 - 0{,}500 = 0{,}316$ м

$$r_з = r_в \frac{\xi_{III} - \xi}{\xi_{III} - \xi_в} = 8550 \frac{0{,}402 - 0{,}316}{0{,}402 - 0{,}204} = 3710 \text{ Н}.$$

16. Квадрат скорости наката:
— при $\xi = 0{,}316$ м

$$u^2_з = u^2_{max} - \frac{r_з + r_в}{M_0}(\xi - \xi_в) =$$

$$= 2{,}26 - \frac{3710 + 8550}{1250}(0{,}316 - 0{,}204) = 1{,}18 \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

— в конце периода

$$u^2_{III} = u^2_{max} - \frac{r_в}{M_0}(\xi_{III} - \xi_в) = 2{,}26 - \frac{8550}{1250}(0{,}402 - 0{,}204) = 0{,}91 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

17. Сила тормоза наката:
— при $\xi = 0{,}316$ м

$$\Phi_{тн} = \Pi' + r_з - \Phi_{он} = 25\,400 + 3710 - 2480 = 26\,600 \text{ Н},$$

где

$$\Pi' = \Pi - R_f = 31\,500 - 6100 = 25\,400 \text{ Н};$$

$$\Phi_{он} = C_{он} \frac{u^2}{a^2} = \frac{3{,}92 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}91}{(3{,}79 \cdot 10^{-6})^2} = 2480 \text{ Н};$$

— в конце периода

$$\Phi_{тн} = \Pi' = \Pi - R_f = 27\,700 - 6100 = 21\,600 \text{ Н},$$

где

$$П = П_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - X} \right)^n = 17\,700 \left(\frac{1{,}43}{1{,}43 - 0{,}414} \right)^{1{,}3} = 27\,700 \text{ Н};$$

$$X = \lambda - \xi_{III} = 0{,}816 - 0{,}402 = 0{,}414 \text{ м}.$$

18. Площадь канавок штока:

— при $\xi = 0{,}316$ м

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u_3^2}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}18}{26\,600}} = 14{,}3 \text{ мм}^2;$$

— в конце периода

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u_{III}^2}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}91}{21\,600}} = 13{,}9 \text{ мм}^2.$$

19. Продолжительность третьего периода

$$t_{III} = \frac{\xi_{III} - \xi_в}{u_{ср}} = \frac{0{,}402 - 0{,}204}{1{,}225} = 0{,}162 \text{ с},$$

где

$$u_{ср} = \frac{u_{III} + u_{max}}{2} = \frac{0{,}953 + 1{,}50}{2} = 1{,}225 \text{ м/с}.$$

Четвертый период

20. Путь наката к концу четвертого периода

$$\xi_{IV} = \lambda - \frac{2(1 - \psi)\Omega_1}{r_к} = 0{,}816 - \frac{2(1 - 0{,}6) \cdot 1410}{4780} = 0{,}580 \text{ м}.$$

21. Сила тормоза наката:

— при

$$\xi = \lambda - X = 0{,}816 - 0{,}395 = 0{,}421 \text{ м}$$

$$\Phi_{тн} = П' = П - R_f = 26\,900 - 6100 = 20\,800 \text{ Н};$$

— при

$$\xi = \lambda - X = 0{,}816 - 0{,}364 = 0{,}452 \text{ м}$$

$$\Phi_{тн} = П' = П - R_f = 25\,900 - 6100 = 19\,800 \text{ Н};$$

— в конце периода

$$\Phi_{тн} = П' = П - R_f = 22\,300 - 6100 = 16\,200 \text{ Н},$$

где

$$П = П_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - X} \right)^n = 17\,700 \left(\frac{1{,}43}{1{,}43 - 0{,}236} \right)^{1{,}3} = 22\,300 \text{ Н};$$

$$X = \lambda - \xi_{IV} = 0{,}816 - 0{,}580 = 0{,}236 \text{ м}.$$

22. Площадь канавок штока:

— при $\xi = 0{,}421$ м

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u_{III}^2}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}91}{20\,800}} = 14{,}1 \text{ мм}^2;$$

— при $\xi = 0{,}452$ м

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u_{III}^2}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}91}{19\,800}} = 14{,}4 \text{ мм}^2;$$

— в конце периода

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u_{III}^2}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}91}{16\,200}} = 16{,}4 \text{ мм}^2.$$

23. Продолжительность четвертого периода

$$t_{IV} = \frac{\xi_{IV} - \xi_{III}}{u_{III}} = \frac{0{,}580 - 0{,}402}{0{,}953} = 0{,}187 \text{ с}.$$

Пятый период

24. Равнодействующая при $\xi = \lambda - X = 0{,}816 - 0{,}064 = 0{,}752$ м

$$r_б = r_к \frac{\xi - \xi_{IV}}{\lambda - \xi_{IV}} = 4780 \frac{0{,}752 - 0{,}580}{0{,}816 - 0{,}580} = 3490 \text{ Н}.$$

25. Квадрат скорости отката при $\xi = 0{,}752$ м

$$u^2 = \frac{r_к + r_б}{M_0} (\lambda - \xi) = \frac{4780 + 3490}{1250} (0{,}816 - 0{,}752) = 0{,}423 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

26. Сила тормоза наката при $\xi = 0{,}752$ м

$$\Phi_{тн} = П' + r_б - \Phi_{он} = 12\,700 + 3490 - 350 = 15\,840 \text{ Н},$$

где

$$П' = П - R_f = 18\,800 - 6100 = 12\,700 \text{ Н};$$

$$\Phi_{он} = C_{он} \frac{u^2}{a^2} = \frac{3{,}92 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}423}{(6{,}93 \cdot 10^{-6})^2} = 350 \text{ Н}.$$

27. Площадь канавок штока

$$a_{тн} = \sqrt{\frac{C_{тн} u^2}{\Phi_{тн}}} = \sqrt{\frac{4{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}423}{15\,840}} = 11{,}1 \text{ мм}^2.$$

28. Продолжительность пятого периода

$$t_V = \frac{2(\lambda - \xi_{IV})}{u_{III}} = \frac{2(0{,}816 - 0{,}580)}{0{,}953} = 0{,}495 \text{ с}.$$

29. Глубина канавок штока (табл. 4)

$$h = \frac{a_{тн}}{nb} = \frac{a_{тн}}{3 \cdot 5} = \frac{a_{тн}}{15}.$$

30. Время наката

$$T_{н} = \sum_{1}^{5} t_i = 0{,}080 + 0{,}096 + 0{,}162 + 0{,}187 + 0{,}495 = 1{,}02 \text{ с.}$$

Таблица 4

ξ м	0,030	0,060	0,116	0,204	0,316	0,402	0,421	0,452	0,580	0,752
$a_{тн}$ мм²	18,2	15,85	17,0	18,3	14,3	13,9	14,1	14,4	16,4	11,1
h мм	1,21	1,06	1,13	1,22	0,95	0,93	0,94	0,96	1,09	0,74

ГЛАВА 14

УРАВНОВЕШИВАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ. МЕХАНИЗМЫ НАВЕДЕНИЯ

§ 14.1. УРАВНОВЕШИВАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

Одним из путей повышения устойчивости орудий при стрельбе является уменьшение высоты их линии огня. В этих орудиях для обеспечения удобства заряжания ствола при больших углах возвышения и для исключения удара его казенной части об основание

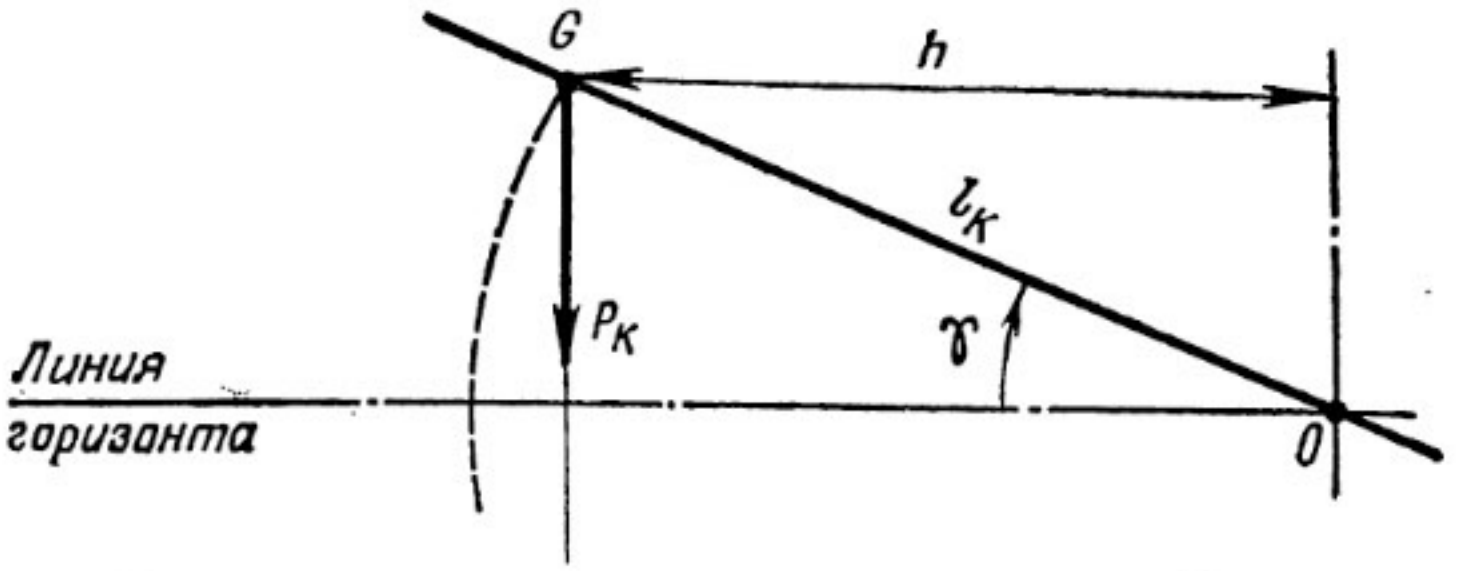


Рис. 14.1. Схема расположения центра тяжести качающейся части орудия относительно оси цапф

(грунт) при откате качающаяся часть вынесена вперед относительно оси цапф. При такой конструкции качающейся части ее сила тяжести $P_к$, приложенная в центре тяжести G (рис. 14.1), создает относительно оси цапф — точки O — момент, который затрудняет или делает невозможной работу подъемного механизма при наведении ствола.

Момент силы тяжести качающейся части $M_к$ относительно оси цапф равен произведению силы тяжести $P_к$ на плечо $h = l_к \cos\gamma$, где $l_к$ — расстояние между осью цапф (точка O) и центром тяжести качающейся части (точка G), γ — угол между отрезком $l_к$ и горизонтом. Тогда

$$M_к = P_к l_к \cos\gamma. \qquad (14.1)$$

Следовательно, величина момента $M_к$ изменяется в зависимости от угла γ по закону косинусоиды, т. е. наибольшее значение $M_к$ будет при $\gamma = 0°$, а наименьшее — при $\gamma = \gamma_{max}$.

В орудиях, у которых центр тяжести качающейся части не находится на оси канала ствола, угол γ отличается по величине от угла возвышения ствола φ. Между этими углами существует следующая зависимость:

$$\gamma = \varphi \pm \alpha,$$

где α — угол в вертикальной плоскости между линией, соединяющей центр тяжести качающейся части с осью цапф, и линией, проходящей через ось цапф (точка O) параллельно оси канала ствола; знак «плюс» относится к случаю, когда центр тяжести располагается выше оси цапф, а знак «минус» — когда ниже оси цапф.

Угол α находится по формуле

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{X_к}{Y_к}, \qquad (14.2)$$

где $X_к$, $Y_к$ — координаты центра тяжести качающейся части (точка G) относительно оси цапф при $\varphi = 0°$ (рис. 14.2).

В орудиях для облегчения работы подъемного механизма действие момента $M_к$ компенсируют или утяжелением казенной части ствола (противовесом), приводящим центр тяжести качающейся части на линию оси цапф, или применением специального устройства, называемого уравновешивающим механизмом, который создает относительно оси цапф момент $M_у$ направления, противоположного $M_к$ (рис. 14.3), т. е. уравновешивает качающуюся часть относительно оси цапф. Следовательно, уравновешивающий механизм предназначен для уравновешивания качающейся части относительно оси цапф, чем облегчается работа подъемного механизма. В зависимости от величины момента $M_у$ и характера его изменения при придании качающейся части углов возвышения различают схемы полного, частичного и неполного уравновешивания качающейся части.

Схема полного уравновешивания — это когда при всех углах возвышения ствола, допускаемых конструкцией орудия, момент силы тяжести качающейся части $M_к$ равен по абсолютной величине моменту уравновешивающего механизма (рис. 14.4, $а$), т. е.

$$|M_к| = |M_у| \text{ при } \varphi_{min} \leqslant \varphi \leqslant \varphi_{max}. \qquad (14.3)$$

Схема частичного уравновешивания — это когда при всех углах возвышения ствола, допускаемых конструкцией орудия, момент силы тяжести $M_к$ больше или меньше по абсолютной величине момента уравновешивающего механизма $M_у$:

$$|M_к| \gtrless |M_у| \text{ при } \varphi_{min} \leqslant \varphi \leqslant \varphi_{max}. \qquad (14.4)$$

Для рассмотренной схемы уравновешивания алгебраическая сумма

$$M_к + M_у = \Delta M, \qquad (14.5)$$

где ΔM — момент неуравновешенности качающейся части.

Величина момента ΔM в основном определяет размер усилия на ведущем звене (маховике) подъемного механизма.

Схема частичного уравновешивания применяется у орудий с электрическим и гидравлическим приводами для частичного облегчения работы подъемного механизма.

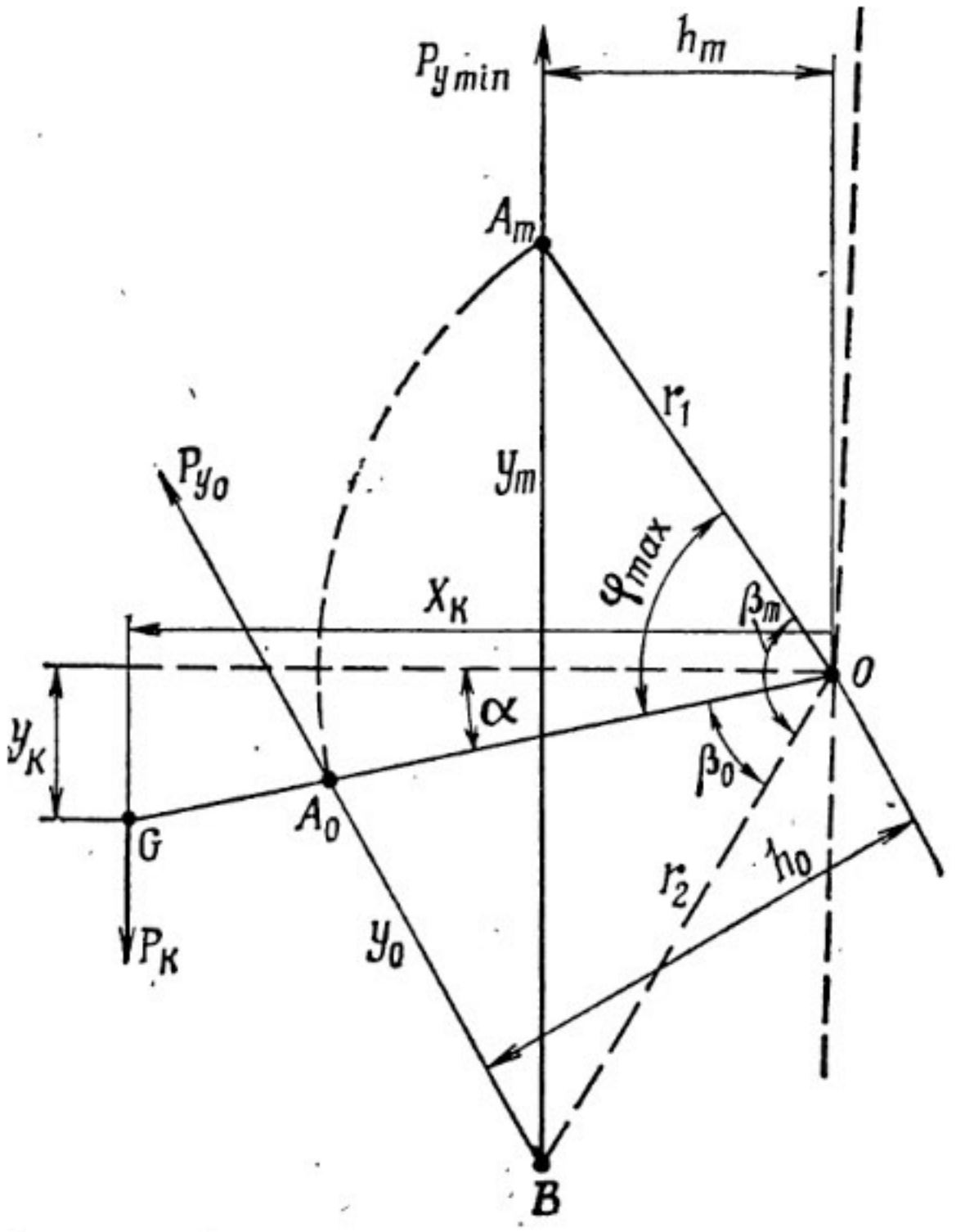


Рис. 14.2. Схема уравновешивающего механизма:

A_0 — положение подвижного шарнира при $\varphi = 0$;
A_m — положение подвижного шарнира при $\varphi = \varphi_{max}$;
r_2 — расстояние между цапфами качающейся части (точка O) и неподвижным шарниром B;
r_1 — расстояние между точкой O и подвижным шарниром A;
B — неподвижный шарнир;
O — ось цапф;
β_0 и β_m — соответственно угол между r_1 и r_2 при $\varphi = 0$ и $\varphi = \varphi_{max}$;
Y_0 — расстояние между шарнирами при $\varphi = 0$;
Y_m — расстояние между шарнирами при $\varphi = \varphi_{max}$

Схема с неполным уравновешиванием качающейся части — это когда при одном или нескольких значениях угла возвышения ствола момент силы тяжести качающейся части $M_к$ равен по абсолютной величине моменту уравновешивающего механизма $M_у$, а при других значениях угла возвышения ствола эти моменты по абсолютной величине не равны (рис. 14.4, *б*), т. е.

$$|M_к| = |M_у| \text{ при } \varphi = \varphi_у, \qquad (14.6)$$

где $\varphi_у$ — угол (углы) возвышения ствола, при котором достигается равенство абсолютных величин моментов $M_к$ и $M_у$.

При $\varphi \neq \varphi_у$ $|M_к| \neq |M_у|$.

При такой схеме уравновешивания качающейся части усилие на ведущем звене подъемного механизма определяется наибольшей величиной момента неуравновешенности ΔM_{max}.

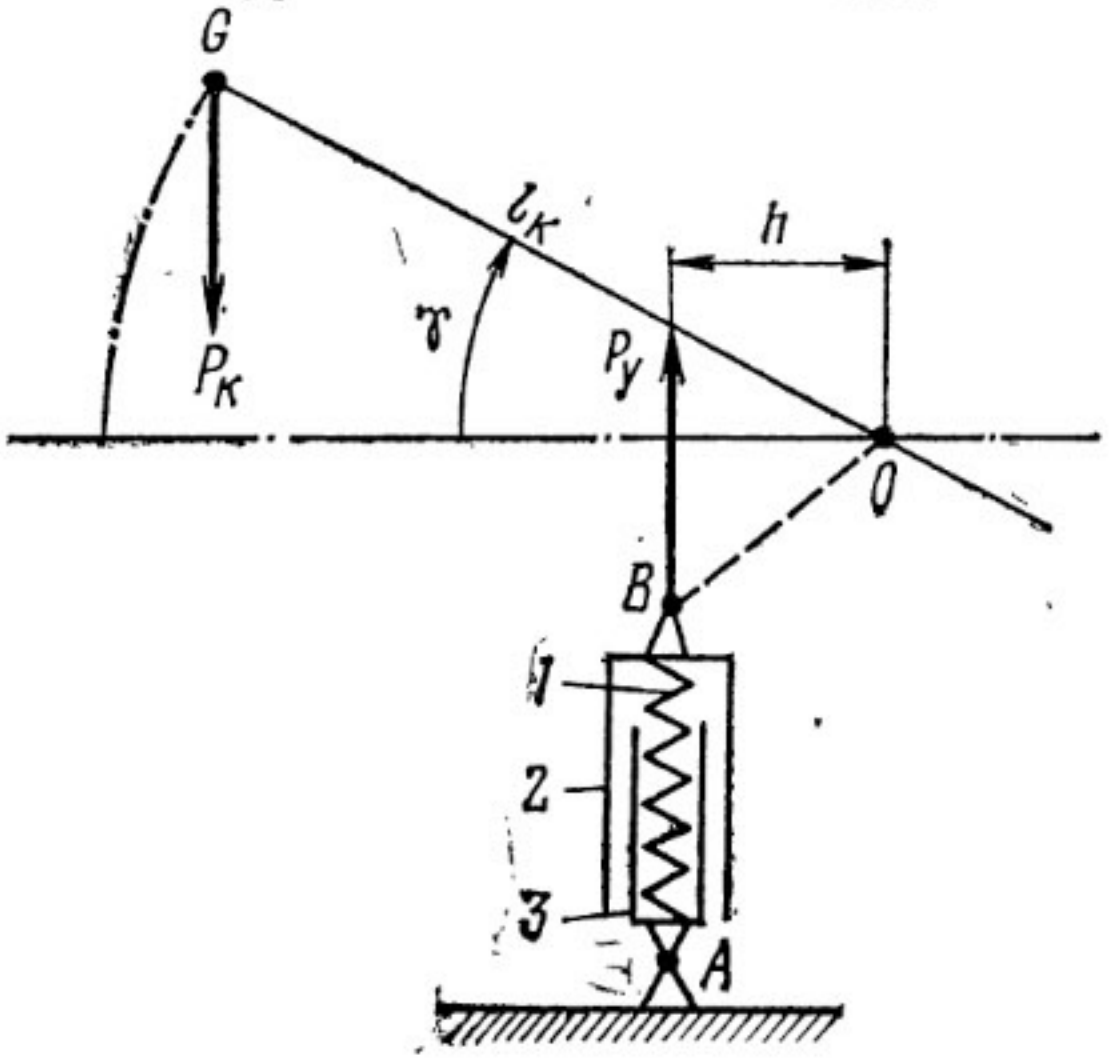


Рис. 14.3. Схема уравновешивающего механизма с винтовой цилиндрической пружиной:

A — неподвижный шарнир; *B* — подвижный шарнир; *1* — пружина; *2* — наружный цилиндр; *3* — внутренний цилиндр

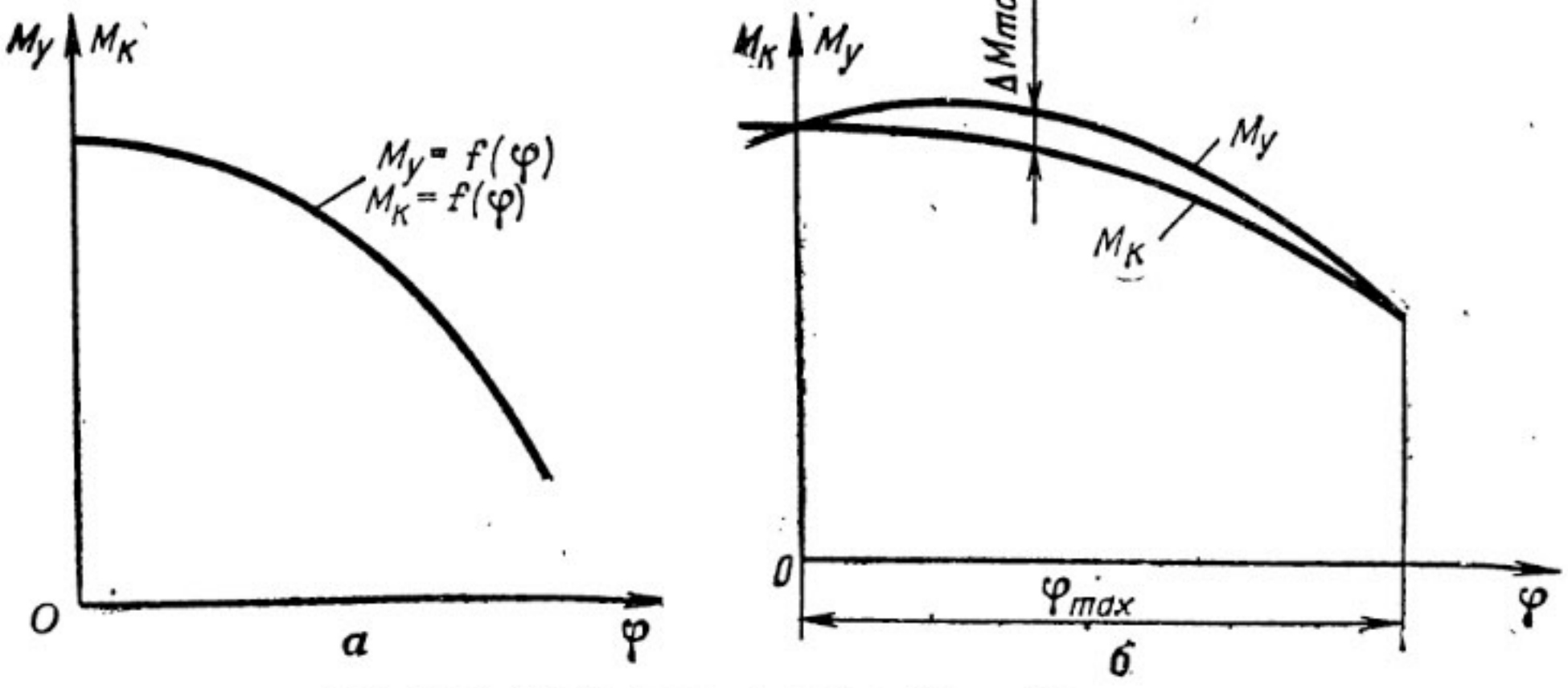


Рис. 14.4. График зависимости $M_к$ и $M_у$ от угла возвышения ствола:

а — полное уравновешивание качающейся части; *б* — неполное уравновешивание качающейся части

Как правило, схема неполного уравновешивания применяется в орудиях с ручным приводом подъемного механизма. При этом, когда усилие на маховике подъемного механизма выходит за пре-

делы установленных величин, его значение изменяют за счет уменьшения момента ΔM_{max}.

Уравновешивающие механизмы классифицируются по следующим основным признакам:

— по месту приложения силы уравновешивающего механизма к качающейся части;

— по виду рабочего тела.

По месту приложения силы к качающейся части уравновешивающие механизмы делятся на толкающие, тянущие и моментные.

Под уравновешивающими механизмами *толкающего типа* понимаются такие, сила которых приложена к качающейся части впереди оси цапф (рис. 14.3). Эти механизмы получили наибольшее распространение. Их главным достоинством является умсньшение давления цапф люльки на цапфенные гнезда верхнего станка, а следовательно, и уменьшение сил трения при наводке. Такое воздействие уравновешивающего механизма на качающуюся часть орудия требует делать наметки и их крепления достаточно прочными.

Под уравновешивающими механизмами *тянущего типа* понимают такие, сила которых приложена к качающейся части сзади оси цапф (рис. 14.5, *а*). Применение таких механизмов позволяет удобнее размещать их на лафете. Недостатком данного типа уравновешивающего механизма является то, что своим действием он увеличивает трение в цапфах люльки.

Под уравновешивающими механизмами *моментного типа* понимаются такие, момент которых приложен непосредственно к оси цапф качающейся части (рис. 14.5, *б*). Моментные уравновешивающие механизмы разгружают наметки и их крепления, но увеличивают силу трения в гнездах цапф. Как правило, такие механизмы применяются в орудиях малого калибра.

В зависимости от вида применяемых рабочих тел уравновешивающие механизмы делятся на пружинные, торсионные и пневматические.

Достоинством *пружинных уравновешивающих механизмов* являются:

— возможность лучшего уравновешивания;

— малое колебание величины момента неуравновешенности при изменении углов возвышения;

— практически нечувствительность силы уравновешивающего механизма к изменению температуры окружающей среды;

— простота конструкции и обслуживания.

К недостаткам пружинных механизмов следует отнести:

— трудность изготовления пружин с заданной жесткостью (с вполне определенными характеристиками);

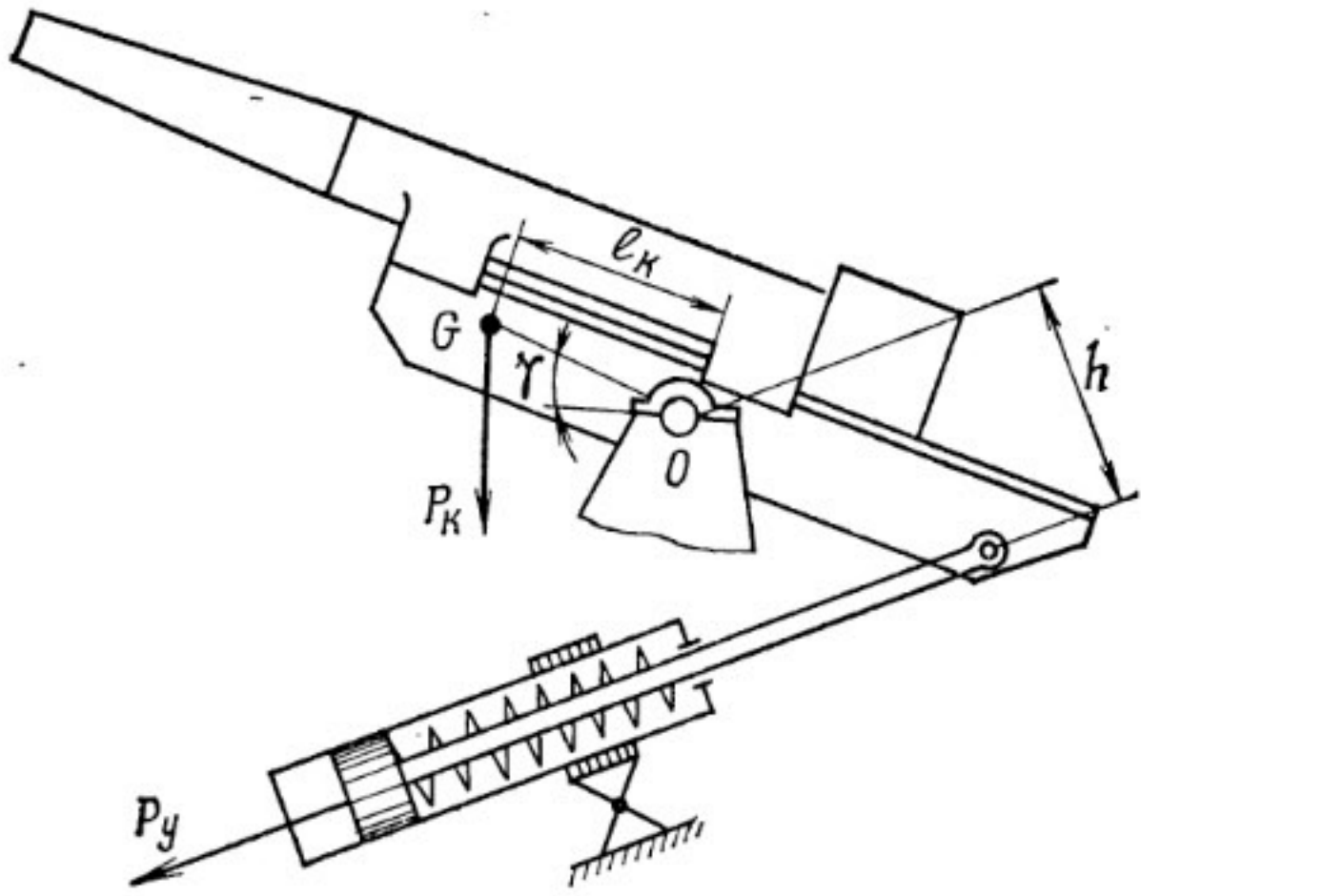
— осадка пружин с течением времени, что ведет к расстройству работы механизма;

— большие габариты уравновешивающих механизмов для орудий среднего и крупного калибров.

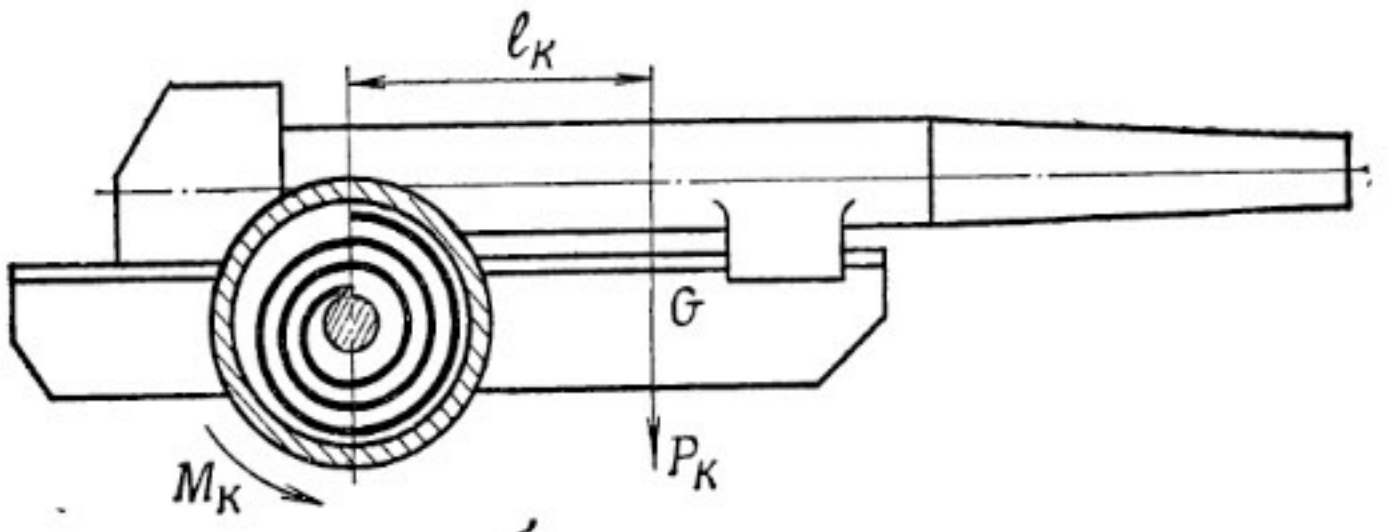
К достоинствам торсионных уравновешивающих механизмов относятся:

— простота обслуживания;

— нечувствительность работы механизма к изменению температуры окружающей среды;



а



б

Рис. 14.5. Уравновешивающие механизмы:
а — нагружающие оси цапф; *б* — моментные

— высокая прочность на усталость по сравнению с пружинными механизмами.

К недостаткам их следует отнести сложность конструкции и трудность обеспечения уравновешивания качающейся части при изменении угла возвышения в широком интервале.

К достоинствам пневматических уравновешивающих механизмов относятся компактность, малая масса и простота регулировки.

Недостатками их являются:

— большое колебание момента неуравновешенности при изменении угла возвышения ствола;

— зависимость работы от температуры окружающей среды;

— неоднообразность уравновешивания в зависимости от направления и скорости придания угла возвышения, от изменения величины сил трения в уплотнительных устройствах, т. е. зависимость силы, а следовательно, и момента механизма от направления и скорости движения ствола орудия при наводке.

Несмотря на существенные недостатки пневматических уравновешивающих механизмов, они получили наибольшее распространение в современных орудиях вследствие своей компактности и малой массы.

К уравновешивающим механизмам предъявляются следующие основные требования:

— хорошее уравновешивание качающейся части орудия во всем диапазоне углов вертикальной наводки, т. е. усилие на маховике подъемного механизма должно быть постоянным во всем диапазоне вертикальной наводки;

— однообразность уравновешивания качающейся части орудия при изменении углов вертикальной наводки как по направлению, так и по скорости;

— нечувствительность силы уравновешивающего механизма к колебаниям температуры окружающей среды;

— компактность (небольшие габариты) и малая масса;

— длительность срока службы;

— простота конструкции, обслуживания и ремонта;

— усилие на маховике при работе подъемного механизма должно быть по возможности одинаковым как при незаряженном, так и при заряженном орудии.

Пружинные уравновешивающие механизмы

Пружинный уравновешивающий механизм (рис. 14.3) состоит из пружины *1* (одной или нескольких), расположенной в поджатом состоянии во внутренней полости наружного *2* и внутреннего *3* цилиндров. Наружный цилиндр через подвижный шарнир *B* связан с качающейся частью, а внутренний через неподвижный шарнир *A* — с верхним станком. Сила пружины $P_у$ создает момент относительно оси цапф $M_у$, обратный по величине моменту силы тяжести качающейся части. При этом происходит полное или частичное ее уравновешивание, в результате чего облегчается работа подъемного механизма.

Момент пружинного уравновешивающего механизма

$$M_у = P_у h, \tag{14.7}$$

где $P_у$ — сила пружины;

h — плечо действия силы $P_у$ относительно оси цапф.

Известно, что сила пружины пропорциональна стреле сжатия (рис. 14.6), поэтому можно написать

$$P_у = cs, \tag{14.8}$$

где c — коэффициент жесткости пружины, характеризующий скорость нарастания силы пружины $P_у$ при увеличении стрелы сжатия;

s — стрела сжатия пружины.

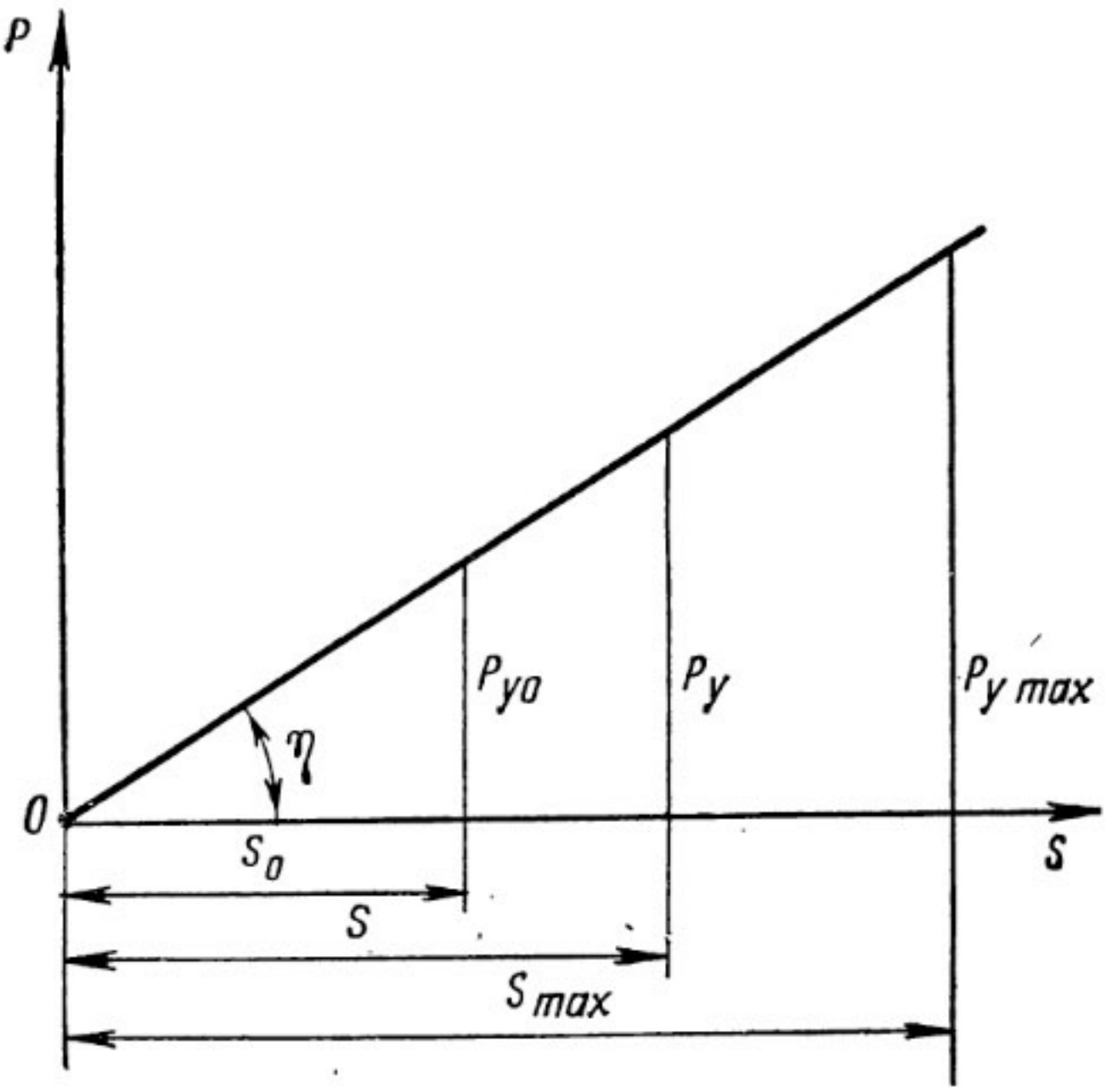


Рис. 14.6. Диаграмма сжатия пружины

Подставляя значение силы $P_у$ из формулы (14.8) в выражение (14.7), получим

$$M_у = csh. \tag{14.9}$$

Для обеспечения полного уравновешивания качающейся части необходимо, чтобы правая часть выражения (14.9) изменялась по закону косинуса. Однако следует отметить, что возможное теоретически полное уравновешивание во всем секторе вертикальной наводки сложно осуществить в действительности из-за производственных трудностей изготовления пружин с заданными характеристиками, неизбежной с течением времени осадки пружин, наличия трения в шарнирах уравновешивающего механизма, в цапфах люльки и влияния собственной силы тяжести уравновешивающего механизма. Поэтому на практике полное уравновешивание производят только для двух или трех значений угла возвышения, а для остальных значений в пределах сектора вертикальной наводки осуществляют частичное уравновешивание качающейся части, т. е. применяют схему неполного уравновешивания качающейся части.

Расчет пружинного уравновешивающего механизма толкающего типа с полным уравновешиванием в двух точках ($\varphi = 0$ и

$\varphi=\varphi_{max}$) сводят к установлению равенства момента уравновешивающего механизма моменту силы тяжести качающейся части для этих точек. Эти равенства имеют следующий вид:
при $\varphi=0$

$$nP_{y0}h_0 = P_к l_к \cos\gamma_{min}; \qquad (14.10)$$

при $\varphi = \varphi_{max}$

$$nP_{y\,min}h_m = P_к l_к \cos\gamma_{max}, \qquad (14.11)$$

где P_{y0} и $P_{y\,min}$ — силы уравновешивающего механизма при углах возвышения соответственно $\varphi=0$ и $\varphi=\varphi_{max}$;
h_0 и h_m — плечи действия уравновешивающих сил соответственно при $\varphi=0$ и $\varphi=\varphi_{max}$;
n — число колонок;
$\gamma_{min}=\pm\alpha$ — угол возвышения центра тяжести качающейся части при $\varphi=0$;
$\gamma_{max}=\varphi_{max}\pm\alpha$ — угол возвышения центра тяжести качающейся части при $\varphi=\varphi_{max}$.

Величины $l_к$, φ_{max} и α определяются конструкцией орудия. Из условий (14.10) и (14.11) получаем

$$P_{y0} = \frac{P_к l_к \cos\gamma_{min}}{nh_0}; \qquad (14.12)$$

$$P_{y\,min} = \frac{P_к l_к \cos\gamma_{max}}{nh_m}. \qquad (14.13)$$

Для дальнейшего расчета необходимо установить зависимость плеч h_0 и h_m от конструктивных размеров. Положим, что уравновешивающий механизм расположен на орудии так, как показано на рис. 14.2. Так как площадь треугольника A_0OB

$$S = \frac{1}{2}h_0y_0 = \frac{1}{2}r_1r_2\sin\beta_0, \qquad (14.14)$$

то

$$h_0 = \frac{r_1r_2\sin\beta_0}{y_0}; \qquad (14.15)$$

по аналогии

$$h_m = \frac{r_1r_2\sin\beta_m}{y_m}. \qquad (14.16)$$

Расстояние между шарнирами y_0 при $\varphi=0$ и y_m при $\varphi=\varphi_{max}$ определяют по теореме косинусов из треугольников A_0OB и A_mOB:

$$y_0 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\beta_0};$$

$$y_m = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\beta_m}.$$

Тогда после подстановки значений y_0 и y_m в зависимости (14.15) и (14.16) получим

$$h_0 = \frac{r_1 r_2 \sin \beta_0}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2 r_1 r_2 \cos \beta_0}}; \qquad (14.17)$$

$$h_m = \frac{r_1 r_2 \sin \beta_m}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2 r_1 r_2 \cos \beta_m}}. \qquad (14.18)$$

Затем по выражениям (14.12) и (14.13) вычисляют P_{y0} и $P_{y\,min}$ и строят диаграмму работы пружины, из которой определяют жесткость пружины по зависимости

$$c = \operatorname{tg} \eta = \frac{P_{y\,0} - P_{y\,min}}{y_m - y_0}$$

и начальную стрелу сжатия пружины

$$s_m = \frac{P_{y\,min}}{c}.$$

После этого вычисляют $M_к$ и $M_у$ для различных углов φ и строят графики $M_к = f(\varphi)$ и $M_у = f(\varphi)$. По графику определяют момент неуравновешенности ΔM_{max}. Величина ΔM_{max} не должна увеличивать усилие на маховике подъемного механизма выше допустимого предела. Если это условие не выполняется, то необходимо изменить конструктивные размеры механизма и по измененным значениям r_1, r_2, β_0 повторить расчет механизма.

Пневматические уравновешивающие механизмы

Пневматические уравновешивающие механизмы (рис. 14.7, *а*) состоят из одной или двух колонок. Колонка состоит из наружного *1* и внутреннего *2* цилиндров, которые при работе механизма перемещаются относительно друг друга под действием силы давления газа, находящегося во внутренних полостях цилиндра. Внутренний объем цилиндров герметизирован воротниковым уплотнением *3*. Над воротниковым уплотнением находится жидкость *6*, которая создает гидравлический запор. К наружному цилиндру на сварке крепится вентильное устройство *7*, которое предназначено для наполнения и выпуска из колонки газа и жидкости.

Давление газа p во внутренних полостях цилиндров создает силу пневматического уравновешивающего механизма:

$$P_у = ps, \qquad (14.19)$$

где s — площадь поперечного сечения внутреннего цилиндра.

При вертикальной наводке ствола в результате относительного перемещения цилиндров изменяется объем внутренней полости колонки W, а следовательно, изменяются и параметры газа (объем,

давление, температура), находящегося в ней. Изменение параметров газа происходит по политропическому закону, т. е.

$$p_0 W_0^n = p W^n, \tag{14.20}$$

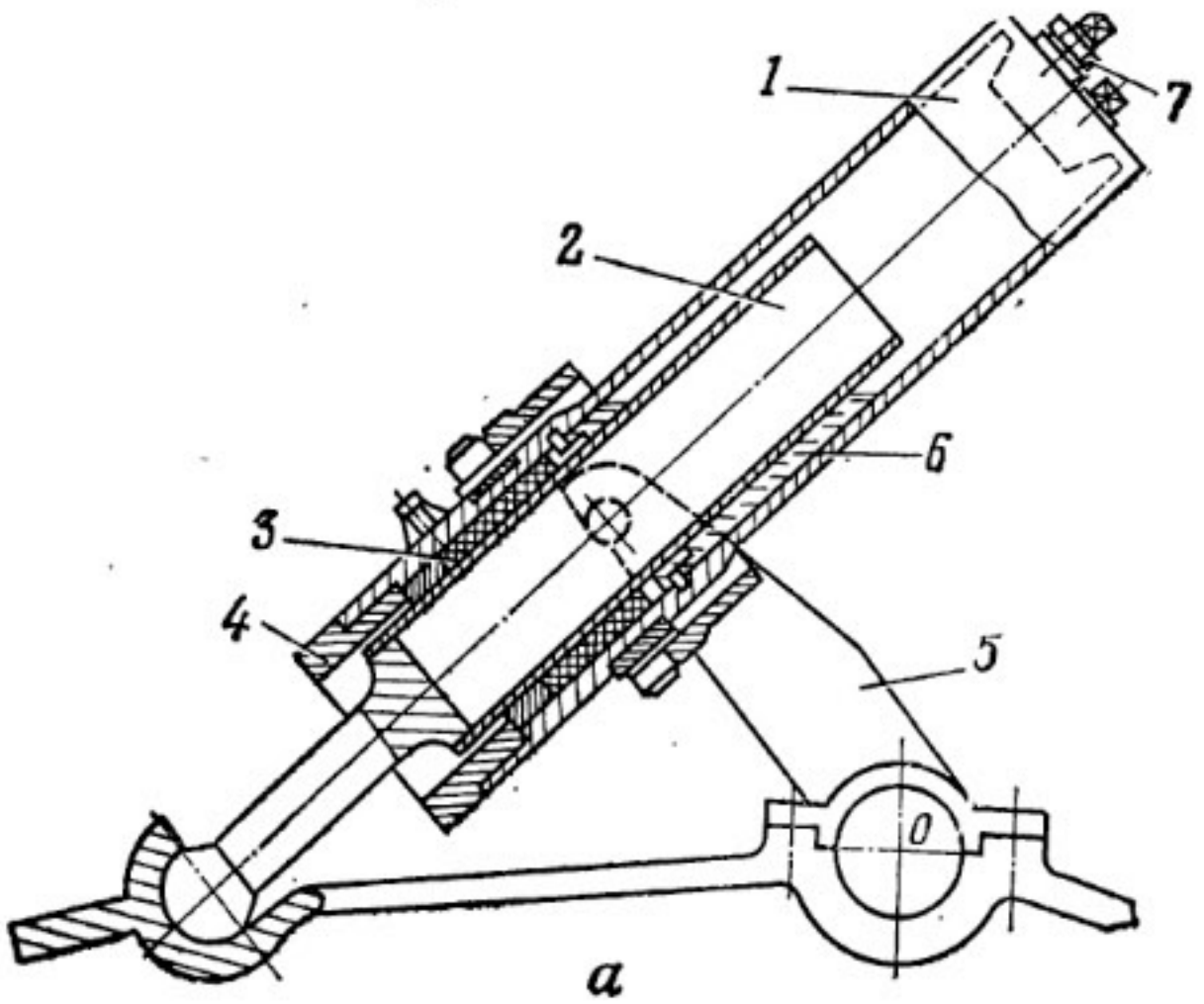


Рис. 14.7. Пневматический уравновешивающий механизм:

а — основные конструктивные элементы пневматического уравновешивающего механизма: *1* — наружный цилиндр; *2* — внутренний цилиндр; *3* — воротниковое уплотнение; *4* — втулка; *5* — кронштейн; *6* — жидкость; *7* — вентильное устройство;

б — график изменения усилия пневматического уравновешивающего механизма

где p_0 и p — соответственно давления во внутренней полости колонки при углах возвышения ствола φ_{min} и φ_i;

W_0 и W — соответственно объемы газа в колонке при углах возвышения ствола φ_{min} и φ_i;

$n = 1{,}05 \div 1{,}1$ — показатель политропы.

Из уравнения (14.20) определяют значение p и, подставляя его в выражение (14.19), получают

$$P_y = p_0 s \left(\frac{W_0}{W}\right)^n. \qquad (14.21)$$

Приводят отношение $\frac{W_0}{W}$ к виду $\frac{W_0}{W_0 + W'}$, затем делят числитель и знаменатель этого отношения на s и получают

$$\frac{W_0}{W} = \frac{l_0}{l_0 + X_l}, \qquad (14.22)$$

где $l_0 = \frac{W_0}{s}$ — приведенная длина начального объема газа в колонке при $\varphi = \varphi_{min}$;

$X_l = \frac{W'}{s}$ — ход цилиндра колонки, отвечающий углу возвышения ствола φ_l.

После подстановки зависимости (14.22) в выражение (14.21) получают

$$P_y = p_0 s \left(\frac{l_0}{l_0 + X_l}\right)^n. \qquad (14.23)$$

В соответствии с видом выражения (14.23) кривая усилия механизма в зависимости от относительного перемещения цилиндров представляет собой политропу (рис. 14.7, *б*). Следовательно, момент уравновешивающего механизма $M_y = P_y \cdot h$ при $h = \text{const}$ также будет изменяться по политропическому закону.

На практике пневматическим уравновешивающим механизмом трудно обеспечить хорошее уравновешивание в широком диапазоне изменения углов возвышения из-за различных законов изменения моментов $M_к$ и M_y.

Конструкции большинства пневматических уравновешивающих механизмов имеют специальные устройства, которые позволяют поддерживать величину момента неуравновешенности ΔM в необходимых пределах при изменении угла возвышения ствола и регулировать работу механизма при изменении температуры окружающей среды. Очень часто в пневматическом уравновешивающем механизме роль устройства для поддержания ΔM в необходимых пределах выполняет пружина *1* (рис. 14.8), установленная на стержне *2*, который в свою очередь закреплен неподвижно в наружном цилиндре *3*. Пружина *1* помещена во внутреннем цилиндре *4*. Работа данного механизма происходит следующим образом.

При перемещении вверх наружного цилиндра на величину x пружина *1* свободно поднимается и никакого влияния на силу уравновешивающего механизма и, следовательно, на момент M_y не оказывает. При дальнейшем перемещении наружного цилиндра пружина *1* упирается в торец внутреннего цилиндра и под действием давления газа начинает сжиматься. При этом вектор силы пружины P_n приложен к стержню *2*, а следовательно, и к наруж-

ному цилиндру и направлен в обратную сторону от силы давления газа $P'_у = ps$. Таким образом, на наружный цилиндр действуют две силы, равнодействующая которых есть сила уравновешивающего механизма $P_у = ps - P_n$.

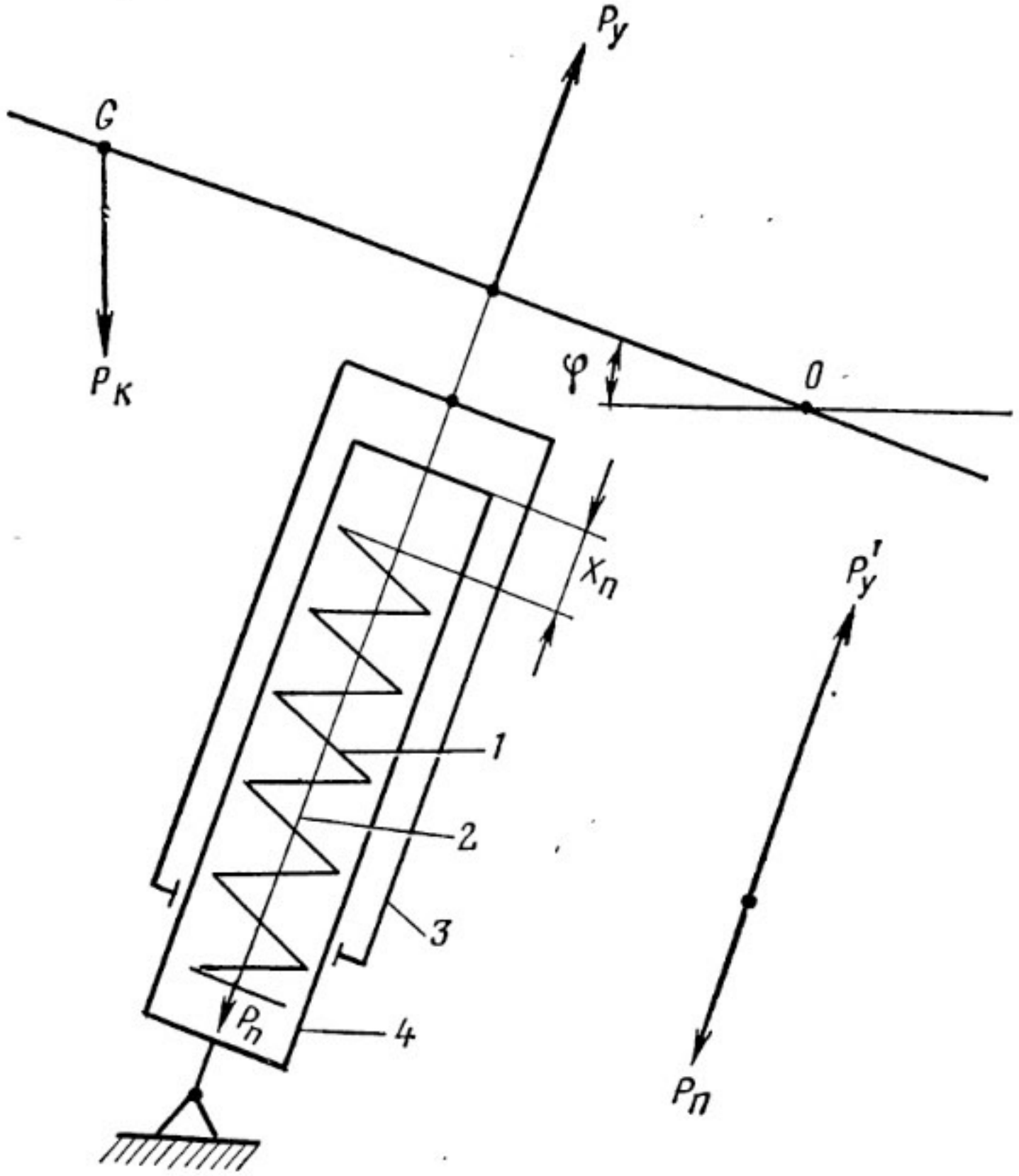


Рис. 14.8. Пневматический уравновешивающий механизм с пружинным устройством:

1 — пружина; *2* — стержень; *3* — наружный цилиндр; *4* — внутренний цилиндр

Чем больше будет величина перемещения цилиндра x, тем больше будет увеличиваться сила пружины P_n при одновременном уменьшении силы $P'_у$.

Поэтому величина момента неуравновешенности будет поддерживаться в необходимых пределах во всем секторе вертикальной наводки (рис. 14.9). Без этого устройства величина ΔM была бы больше допустимого значения, что наглядно показывает диаграмма изменения величины $\Delta M'$ (рис. 14.9) — пунктирная линия.

Пневматический уравновешивающий механизм аналогичного действия имеют гаубица Д-30 и другие орудия.

При колебании температуры окружающей среды в пневматических уравновешивающих механизмах изменяется давление газа

в колонке, а следовательно, и изменяются усилие $P_у$ и момент $M_у$. Это приводит к увеличению момента неуравновешенности ΔM, в результате чего затрудняется работа на подъемном механизме.

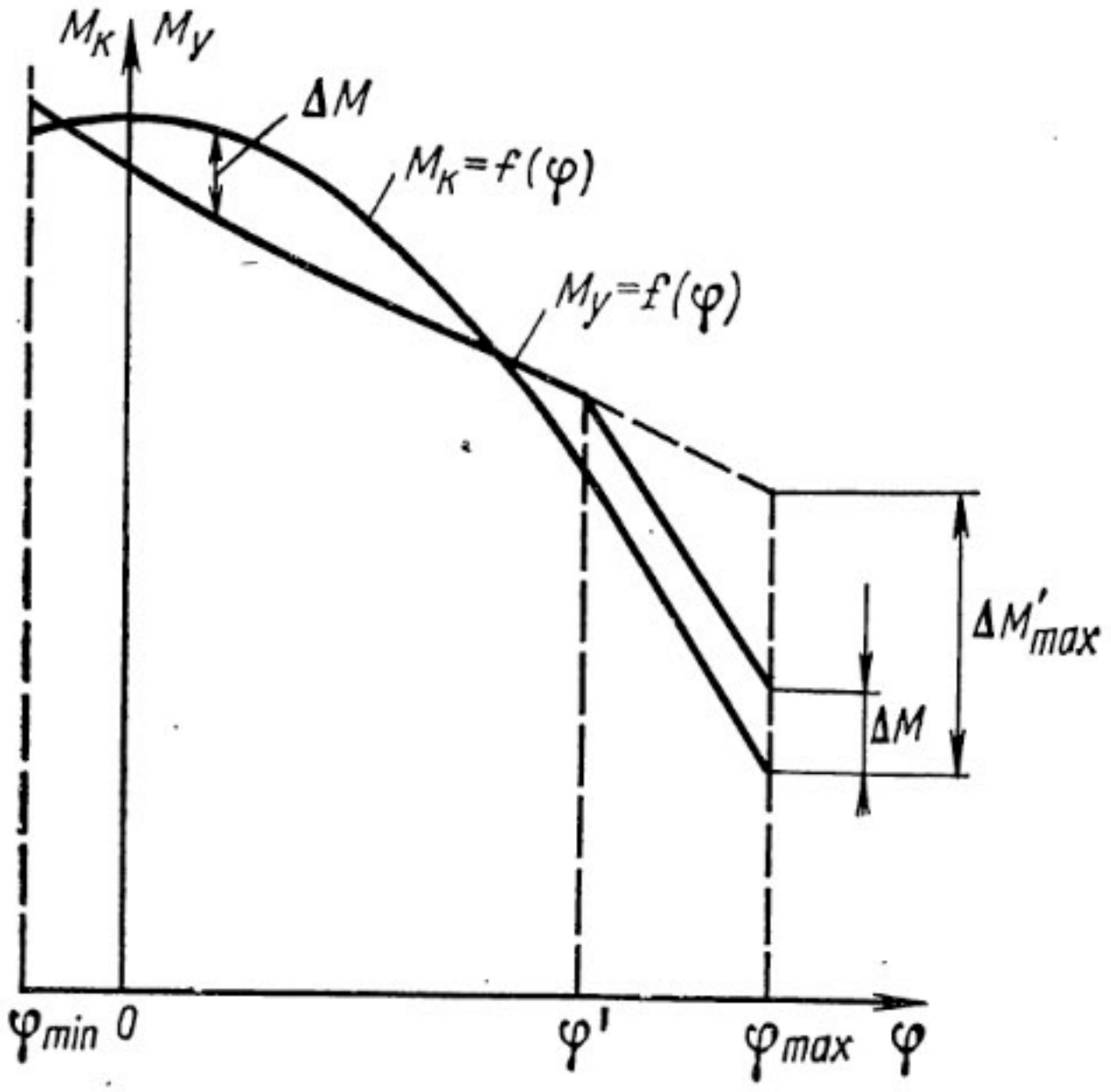


Рис. 14.9. Диаграмма уравновешивания пневматического уравновешивающего механизма с пружиной

Для поддержания момента уравновешивающего механизма необходимой величины в интервале суточного колебания температуры воздуха (примерно в пределах $\pm 17°$ К) в конструкции механизма предусматривается специальное регулировочное устройство.

Регулировка величины момента уравновешивающего механизма при колебании температуры окружающей среды производится либо за счет изменения плеча действия силы h, либо за счет поддержания постоянного значения силы $P_у$ или комбинированным способом. При этом постоянное значение силы $P_у$ поддерживается компенсационным или объемным способом.

Компенсационный способ заключается в том, что за счет дополнительного подвода (отвода) газа из отдельных емкостей (компенсаторных баллонов) в колонке устанавливают требуемое давление. Объем газа в цилиндрах при этом способе регулировки не изменяется, а количество его меняется.

Объемный способ установления заданного давления газа заключается в том, что путем изменения объема, занимаемого определенным количеством газа, поддерживают давление газа требуемой величины.

Задача расчета пневматического уравновешивающего механизма сводится к определению:

— величины силы уравновешивающего механизма, при которой достигается равенство моментов $M_к$ и $M_у$ для заранее принятых углов возвышения качающейся части;

— наибольшего объема воздуха;

— конструктивных размеров механизма;

— прочности деталей механизма.

Расчет сил пневматического уравновешивающего механизма ведется аналогично пружинному.

1. Определяют рабочую площадь поршня s, предварительно задавшись начальным давлением в колонке уравновешивающего механизма $p_0 = (4 \div 10)\ 10^6$ Н/м².

2. Устанавливают приведенную длину начального объема газа по зависимости

$$l_0 = \frac{x_{max}}{\sqrt[n]{m} - 1},$$

где $x_{max} = y_m - y_0$ — полный ход подвижного шарнира;

$m = \frac{P_{max}}{P_{min}}$ — степень сжатия газа в колонке механизма;

n — показатель политропы.

3. Определяют начальный объем газа

$$W_0 = l_0 s.$$

4. Вычисляют силу трения T в уплотнительных устройствах механизма по формуле

$$T = \mu \pi D_н l p,$$

где $\mu \cong 0{,}7$ — коэффициент трения воротников по стали;

l — высота воротника;

p — текущее давление в колонке;

$D_н = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}$ — наружный диаметр внутреннего цилиндра.

Действительная сила уравновешивающего механизма $P_{эу}$, приложенная к качающейся части, определяется по зависимости

$$P_{эу} = P_у \pm T,$$

где знак «—» берется при подъеме качающейся части, а «+» при опускании.

Затем вычисляют моменты $M_к$ и $M_у$ для углов φ_i с интервалом 10—15° и строят графики $M_к = f(\varphi)$ и $M_у = f(\varphi)$ как для случая опускания, так и для подъема качающейся части, после чего определяют ΔM_{max} для указанных выше случаев и величины усилия на маховике подъемного механизма при ΔM_{max}.

Цилиндры механизма рассчитывают на прочность, как толстостенные трубы, по зависимости

$$\sigma_в = \frac{2}{3} p_m \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \leqslant [\sigma_в].$$

Конструктивные размеры цилиндров выбираются такими, чтобы в них помещался расчетный объем газа W_0 при давлении p_0.

§ 14.2. МЕХАНИЗМЫ НАВЕДЕНИЯ

Механизмы наведения предназначаются для придания оси канала ствола углов прицеливания, установленных на прицельных приспособлениях.

Механизмы наведения, как правило, состоят из трех звеньев — ведущего, передающего и исполнительного. Эти звенья предназначаются для передачи движения от привода к качающейся или вращающейся части орудия. Самым распространенным способом передачи движения как внутри звена, так и от звена к звену является механическая передача. Механическая передача состоит из цепи кинематических пар.

Кинематическая пара представляет собой две детали механизма, участвующие в передаче движения и имеющие возможность взаимно перемещаться. Основной кинематической парой называется пара, один из элементов которой жестко или шарнирно связан непосредственно с вращающейся или качающейся частью орудия и имеет с ней общую скорость вращения (например, зубчатый сектор, прикрепленный к люльке или станку).

Наиболее распространенными видами механических передач являются винтовые, зубчатые, червячные и цепные.

Винтовые передачи обычно состоят из винта и гайки (матки) и в основном предназначаются для преобразования вращательного движения в поступательное. Винты выполняются с прямоугольной или трапецеидальной резьбой, что позволяет получить больший выигрыш в силе, а следовательно, и более высокий к. п. д. по сравнению с резьбой треугольного профиля. При этом трапецеидальная резьба предпочтительнее прямоугольной, так как она дает возможность производить регулировку мертвого хода при износе резьбы и является более прочной.

Достоинствами винтовой передачи являются простота конструкции и изготовления, выигрыш в силе, возможность обеспечения высокой точности перемещения, простота эксплуатации.

Основной их недостаток — малый к. п. д., что обусловлено большими потерями на трение. В последнее время для устранения этого недостатка стали применять винтовые пары, в которых трение скольжения заменено трением качения, — шариковые винтовые пары.

Зубчатая передача в основном служит для передачи вращательного движения, но встречаются механизмы, где ее ис-

пользуют для преобразования вращательного движения в поступательное (передача шестерня — рейка). Зубчатые передачи бывают цилиндрические, конические и винтовые.

Червячная передача состоит из червяка — винта с трапецеидальной нарезкой — и червячного колеса — зубчатого колеса с косыми зубьями особой формы. Червячная передача дает возможность получить большие передаточные числа $i=7\div100$ при компактной конструкции с плавным ходом, с бесшумной работой и обеспечивает выполнение передачи самотормозящей. Главными недостатками червячной передачи являются сравнительно невысокий к. п. д. (в самотормозящих передачах $\eta<0{,}5$) и необходимость изготовления червячного колеса из дорогих антифрикционных материалов.

Цепные передачи обеспечивают передачу движения при значительных межосевых расстояниях (до 8 м), имеют малые габариты, обладают постоянным передаточным числом и высоким к. п. д.

К недостаткам цепных передач относятся:

— вытягивание цепи вследствие износа в шарнирах;

— необходимость тщательного монтажа и ухода;

— некоторая неравномерность хода передачи, особенно при малых числах зубьев и большом шаге звездочки;

— непригодность передачи при необходимости периодического реверсирования без пауз.

Механизмы наведения классифицируются по следующим признакам:

1. По назначению в конструкции образца вооружения:

— подъемные механизмы;

— поворотные механизмы;

— механизмы приведения к углу заряжания.

2. По типу привода ведущего звена:

— механизмы наведения с ручным приводом;

— механизмы наведения с электрическим приводом;

— механизмы наведения с гидравлическим приводом.

3. По типу исполнительного звена:

— механизмы наведения с механическим исполнительным звеном;

— механизмы наведения с электрическим исполнительным звеном;

— механизмы наведения с гидравлическим исполнительным звеном.

В свою очередь механические исполнительные звенья в зависимости от вида основной кинематической пары делятся на зубчатые (секторные), червячные и винтовые.

Механизмы наведения артиллерийских орудий, как правило, имеют ручной или электрический привод с механическими передающими и исполнительными звеньями.

К механизмам наведения предъявляются следующие требования:

— легкость наведения;

— достаточная скорость наведения;
— несбиваемость наводки;
— плавность наводки;
— возможно больший сектор обстрела без изменения положения всего орудия;
— удобство эксплуатации, осмотра, технического обслуживания и ремонта;
— прочность и живучесть;
— малая уязвимость от огня противника.

Легкость наведения определяется величиной усилия на ведущем звене (маховике) механизма $P_м$, которое необходимо для выполнения наводки с заданной скоростью.

Величина усилия $P_м$ для механизма наведения определяется по формуле

$$P_м = P_1 + P_2 + P_3, \tag{14.24}$$

где P_1 — усилие, необходимое для преодоления момента сил трения $M_{тр}$ в цапфах люльки или штыревого устройства;
P_2 — усилие, необходимое для преодоления момента неуравновешенности качающейся части (ΔM);
P_3 — усилие, необходимое для преодоления сил инерции (разгон качающейся или вращающейся части).

Следовательно, момент на ведущем звене (маховике)

$$M_{max} = P_м R_м = P_1 R_м + P_2 R_м + P_3 R_м,$$

где $R_м$ — радиус ведущего звена (маховика)
или

$$M_{max} = M'_{max} + M''_{max} + M'''_{max}, \tag{14.25}$$

где

$$M'_{max} = P_1 R_м; \tag{14.26}$$

$$M''_{max} = P_2 R_м; \tag{14.27}$$

$$M'''_{max} = P_3 R_м. \tag{14.28}$$

Усилие $P_1 = \frac{M'_{max}}{R_м}$ определяется на основании равенства

$$M_{тр} = M'_{max} i_{мех} \eta_{мех}, \tag{14.29}$$

где $i_{мех}$ — передаточное число механизма;
$\eta_{мех}$ — к.п.д. механизма.

Решая зависимость относительно M'_{max} и подставляя его в выражение (14.20), находят

$$P_1 = \frac{M_{тр}}{R_м i_{мех} \eta_{мех}}. \tag{14.30}$$

По аналогии усилие

$$P_2 = \frac{\Delta M}{R_м i_{мех} \eta_{мех}}. \tag{14.31}$$

Для определения усилия $P_з$ приравнивают кинетическую энергию качающейся или вращающейся части в конце разгона к работе на маховике за время разгона, т. е.

$$\frac{I_{кч}\omega^2}{2} = M'''_{max}\varphi\eta_{мех}, \qquad (14.32)$$

где ω — угловая скорость качающейся (вращающейся) части;

$I_{кч}$ — момент инерции качающейся (вращающейся) части;

φ — угол поворота качающейся (вращающейся) части.

Так как $M'''_{max} = P_з R_м$,

а $$\varphi = \omega_{ср} t_{разг},$$

где $\omega_{ср}$ — средняя угловая скорость качающейся (вращающейся) части в период разгона;

$t_{разг}$ — время разгона,

то, подставляя в зависимость (14.32) их значения и решая его относительно $P_з$, получают

$$P_з = \frac{I_{кч}\omega^2}{2R_м\omega_{ср}t_{разг}\eta_{мех}}. \qquad (14.33)$$

Принимают $\omega_{ср} = \frac{1}{2}\omega_{max}$, но так как $\omega_{max} = \omega i_{мех}$,

то $$\omega_{ср} = \frac{1}{2}\omega i_{мех}.$$

Подставляя найденное значение $\omega_{ср}$ в выражение (14.33), получают

$$P_з = \frac{I_{кч}\omega}{R_м t_{разг} i_{мех}\eta_{мех}}. \qquad (14.34)$$

Подставляя значения P_1, P_2 и $P_з$ соответственно из зависимостей (14.30), (14.31) и (14.34) в формулу (14.25) и произведя несложные преобразования, находят

$$P_м = \frac{1}{R_м i_{мех}\eta_{мех}}\left(M_{тр} + \Delta M + \frac{I_{кч}\omega}{t_{разг}}\right). \qquad (14.35)$$

Зависимость (14.35) определяет величину усилия на ведущем звене механизма наведения. Из выражения (14.35) видно, что усилие на ведущем звене зависит от момента $M_{тр}$, ΔM, $i_{мех}$, технического состояния механизма и его регулировки.

При ручном приводе ведущего звена величина этого усилия должна быть в определенных пределах. Верхний предел устанавливается из условия обеспечения продолжительной работы наводчика, а нижний — из условия исключения сбивания наводки от случайных причин.

При определении верхнего предела величины усилия исходят из того, что нормально физически развитый человек может про-

изводить рукой 100—120 однообразных движений в минуту и развивать при этом мощность до 75 Вт.

Из курса физики известно, что мощность определяется следующей формулой:

$$N = \frac{\pi n}{30} R_м P_м,$$

где N — мощность, Вт;
n — число оборотов маховика в минуту;
$R_м$ — радиус маховика, м;
$P_м$ — усилие на рукоятке маховика, Н.

Из этой формулы определяют усилие на рукоятке маховика

$$P_м = \frac{30}{\pi n} \cdot \frac{N}{R_м} [Н].$$

Подставляя в эту зависимость $n=120$ об/мин, $N=75$ Вт и $R_м=0{,}15$ м (величина $R_м$ устанавливается из условия, чтобы при работе на механизмах наведения наводчик мог непрерывно следить за целью), определяют

$$P_м = 40 Н.$$

Следовательно, для ручных приводов усилие на маховике механизмов наведения не должно превосходить 30—40 Н при продолжительной работе и установившемся движении и 70—80 Н при непродолжительной работе, а также при страгивании с места и сообщении ускорения движущимся частям в «период разгона», в течение которого приходится преодолевать не только силы трения и момент неуравновешенности, но и инерцию масс, приводимых в движение.

Практически установлено, что в период разгона усилие на маховике $P_р = (1{,}5 \div 2)\ P_м$.

Для исключения сбивания наводки орудия от действия незначительных случайных причин нижний предел усилия на маховике механизмов наведения должен быть не меньше 20 Н.

В служебных условиях легкость наводки зависит в значительной степени от общего состояния механизмов, т. е. качества сборки, регулировки, смазки, степени загрязнения деталей и т. п.

Скорость наводки измеряется величиной угла перемещения ствола в горизонтальной или вертикальной плоскости за секунду (град/с) или за один оборот маховика (град/об) при работе на механизмах наведения.

Требуемая скорость наводки определяется тактико-техническими требованиями к орудию. Величина ее зависит от назначения орудия и мощности источника энергии, обслуживающего механизм, т. е. зависит от характера привода (ручной, электрический, гидравлический). Покажем, как определяют необходимую скорость горизонтальной наводки.

Если цель A (рис. 14.10) перемещается со скоростью V, а расстояние до нее от орудия $D_м$, то для непрерывного слежения за

целью необходимо иметь скорость наводки ω, определяемую по следующей формуле:

$$\omega = \frac{V \sin \gamma}{D} \ [1/\text{с}], \qquad (14.36)$$

где γ — курсовой угол, т. е. угол между направлением на цель и направлением движения цели.

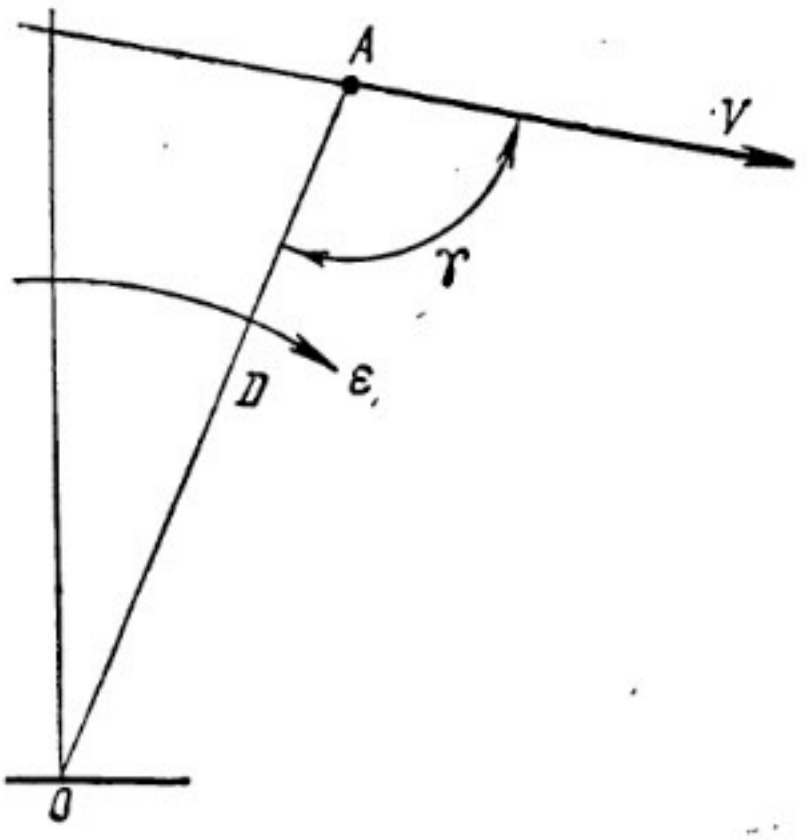


Рис. 14.10. Схема перемещения цели относительно орудия

Из формулы (14.36) видно, что наибольшая скорость наводки потребуется при $\gamma = 90°$ (движение цели круговое), т. е.

$$\omega_{max} = \frac{V}{D}.$$

Положим, что $V = V_{ц}$ (нормальной скорости движения цели в боевых условиях), и выразим угловую скорость в град/с; тогда требуемая от механизма наибольшая скорость наводки определится по формуле

$$\omega_{max} = 57{,}3 \frac{V_{ц}}{D_{м}} \ [\text{град/с}], \qquad (14.37)$$

где $D_{м}$ — радиус (глубина) «мертвой зоны вокруг орудия», внутри которой наводка по цели, движущейся со скоростью $V_{ц}$ и совершающей круговое движение, невозможна.

Например, для обеспечения стрельбы прямой наводкой по целям, движущимся со скоростью $V_{ц} = 30$ км/ч на расстоянии 200 м от орудия, потребуется скорость горизонтальной наводки

$$\omega = 57{,}3 \frac{V_{ц}}{D_{м}} = 57{,}3 \frac{30 \cdot 1000}{3600 \cdot 200} = 2{,}38 \ \frac{\text{град}}{\text{с}},$$

а на расстоянии 100 м $\omega = 4{,}76$ град/с.

Обычно скорости наводки колеблются от 0,5 (для тяжелых наземных орудий) до 15 град/с и более (для зенитных орудий). На основе аналогичных рассуждений устанавливается и наибольшая скорость вертикальной наводки ω_{max}. Так как скорость наводки ω_{max} тесно связана с усилием на маховике, то после установления ее величины вычисляют мощность, необходимую для работы механизма наведения при установившемся движении, по формуле

$$N_{с} = \frac{M_{с}\omega_{max}}{\eta_{мех}}, \qquad (14.38)$$

где $M_{с}$ — момент статических сопротивлений, равный сумме моментов от сил трения и от неуравновешенности качающейся части;

$\eta_{мех}$ — к.п.д. механизма.

Мощность в период разгона $N_р$ приближенно определяется по формуле

$$N_р = кN_с,$$

где $к = 1{,}5 \div 2{,}5$ — коэффициент, характеризующий разность режимов работы в период разгона и установившегося движения.

Если величина $N_с$, полученная по формуле (14.38), не превосходит 75 Вт, то для данного механизма можно применять ручной привод; в противном случае потребуется либо введение другого типа привода, либо изменение величины принятой скорости наводки.

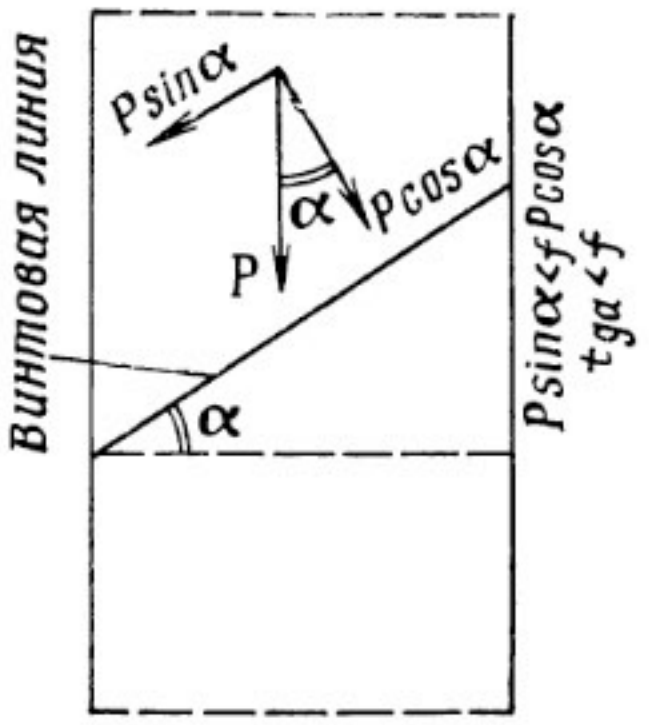


Рис. 14.11. Схема распределения усилий в самотормозящей передаче

Несбиваемость наводки — способность механизма прочно и надежно фиксировать наводку после ее выполнения и при выстреле из орудия.

Обычно несбиваемость наводки обеспечивается применением в кинематических звеньях механизма самотормозящих пар (винтовая, червячная), тормозных устройств и приспособлений для выбора мертвых ходов. Кроме того, несбиваемость наводки обеспечивается достаточной жесткостью элементов, участвующих в передаче усилий, возникающих при выстреле.

Сущность самоторможения заключается в том, что сила P матки или червячного колеса (рис. 14.11), действующая вдоль винта или червяка, из-за наклона витков разлагается на две составляющие — перпендикулярно опорной поверхности витков $P\cos\alpha$ и параллельно этой поверхности $P\sin\alpha$.

Составляющая $P\sin\alpha$ стремится повернуть винт или червяк, а сила $P\cos\alpha$ создает силу трения $fP\cos\alpha$, тормозящую вращение винта или червяка. При определенных сочетаниях угла наклона винтовой линии α и коэффициента трения f сила трения будет больше вращающей силы, т. е. получится самотормозящая передача, которая не может передавать вращение со стороны матки к винту или со стороны червячного колеса к червяку.

Итак, условие самоторможения определяется зависимостью

$$P\sin\alpha < fP\cos\alpha \text{ или } \operatorname{tg}\alpha < f.$$

Очевидно, что чем меньше коэффициент трения f, тем меньше должен быть угол подъема винтовой линии α (червяка или винта) для получения самоторможения передачи.

В табл. 14.1 приведены некоторые значения коэффициента трения и соответствующие им максимальные углы подъема винтовой линии для получения самотормозящей передачи. Учитывая колебания величины коэффициента трения в процессе работы механизма,

необходимо для надежности самоторможения угол подъема винтовой линии уменьшать. Для поворотных механизмов следует брать $\alpha_{пр}$ не более 4°, а для подъемных — не более 3°. В противном случае при выстреле можно ожидать самопроизвольную «сдачу» механизма и, следовательно, сбивание наводки.

Таблица 14.1

Коэффициент трения f	0,20	0,15	0,10	0,08	0,05	0,03	0,01
Предельно допустимый угол подъема винтовой линии $\alpha_{пр}$	10°	8°	5°	4°	2°30′	1°30′	0°30′
$\operatorname{tg} \alpha_{пр}$	0,176	0,14	0,0875	0,07	0,043	0,026	0,00873

Плавность наводки обеспечивается равномерной скоростью наводки. Отсутствие плавности может затруднить непрерывность наблюдения за целью и даже сделать наводку невозможной. Плавность наводки главным образом зависит от общего состояния механизма и качества ухода за ним (своевременность смазки, удаления грязи и т. п.). Плавность наводки осуществляется за счет применения передач, обеспечивающих либо постоянство передаточного числа механизма (зубчатые, червячные и другие передачи), либо плавное его изменение (винтовые передачи, шарниры Гука).

Сектор обстрела зависит от назначения орудия и является одной из важнейших тактико-технических характеристик, от которой зависит огневая маневренность. Сектор обстрела определяется диапазоном углов поворота ствола в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Под живучестью механизмов наведения понимается их способность в течение длительного срока выполнять положенные функции без заметных признаков расстройства, износа и повреждений.

Живучесть механизмов зависит от следующих основных факторов:

— качества применяемых материалов;
— характера приложения нагрузки;
— качества обработки деталей;
— качества сборки и регулировки;
— качества смазки, ее состояния и условий смазки;
— степени квалификации обслуживающего персонала;
— качества ухода и сбережения.

Эксплуатация механизмов наведения артиллерийских орудий по сравнению с эксплуатацией аналогичных механизмов других машин имеет следующие особенности:

— работа в полевых условиях, в любое время года и при любых метеорологических условиях;

— механизмы наведения являются составными агрегатами орудия и перевозятся вместе с ними, т. е. они являются транспортируемыми;

— неблагоприятный (динамический) характер приложения нагрузки к деталям механизма.

Для обеспечения живучести механизмов эти особенности требуют обязательного применения следующих специальных устройств:

— защитных средств — кожухов, войлочных уплотнений, прокладок, ограждающих ответственные детали механизмов от пыли, грязи, влаги и удерживающих смазку;

— стопоров крепления по-походному качающейся и вращающейся частей орудия, которые отключают передаточные звенья механизмов наведения на время марша и принимают на себя инерционные усилия, возникающие при транспортировке орудия;

— амортизаторов и других приспособлений, обеспечивающих некоторую подвижность соединений и этим смягчающих нагрузку и приближающих ее по характеру действия к статической.

Помимо указанного конструкция механизмов наведения должна предусматривать возможность регулировки зацепления, устранения мертвых ходов и других причин, вызывающих повышенный износ деталей, затрудняющих работу наводчика или нарушающих нормальную работу механизмов.

Удобство эксплуатации механизмов наведения обеспечивается, если наводчик как при работе на них, так и на прицельных приспособлениях занимает удобное и свободное положение.

Малая уязвимость от огня противника — одно из важнейших требований, предъявляемых к механизмам наведения. Учитывая особую ответственность, сложность конструкции и трудность исправления повреждений механизмов наведения, их необходимо располагать на орудии укрыто и по возможности компактно.

Винтовые поворотные механизмы орудий (рис. 14.12) наземной артиллерии просты по устройству, компактны, позволяют производить поворот вращающейся части орудия в достаточно широком секторе горизонтального обстрела.

Основными деталями этих механизмов являются: винт *2* (рис. 14.12), закрепленный шарнирно посредством пальца *1* на нижнем станке в точке *B*; матка *3*, навинченная на винт *2* и другим концом через подшипник шарнирно закрепленная в кронштейне верхнего станка (точка *A*); маховик *4*, жестко соединенный с маткой *3*. При вращении маховика матка, перемещаясь по винту, изменяет расстояние между точками *A* и *B*, в результате верхний станок поворачивается на оси боевого штыря относительно нижнего станка.

Для удобства работы на механизме точка A приподнята над точкой B; это вызывает наклон оси винта и матки. Передаточное отношение этого механизма

$$i = \frac{\omega_м}{\omega_г}, \qquad (14.39)$$

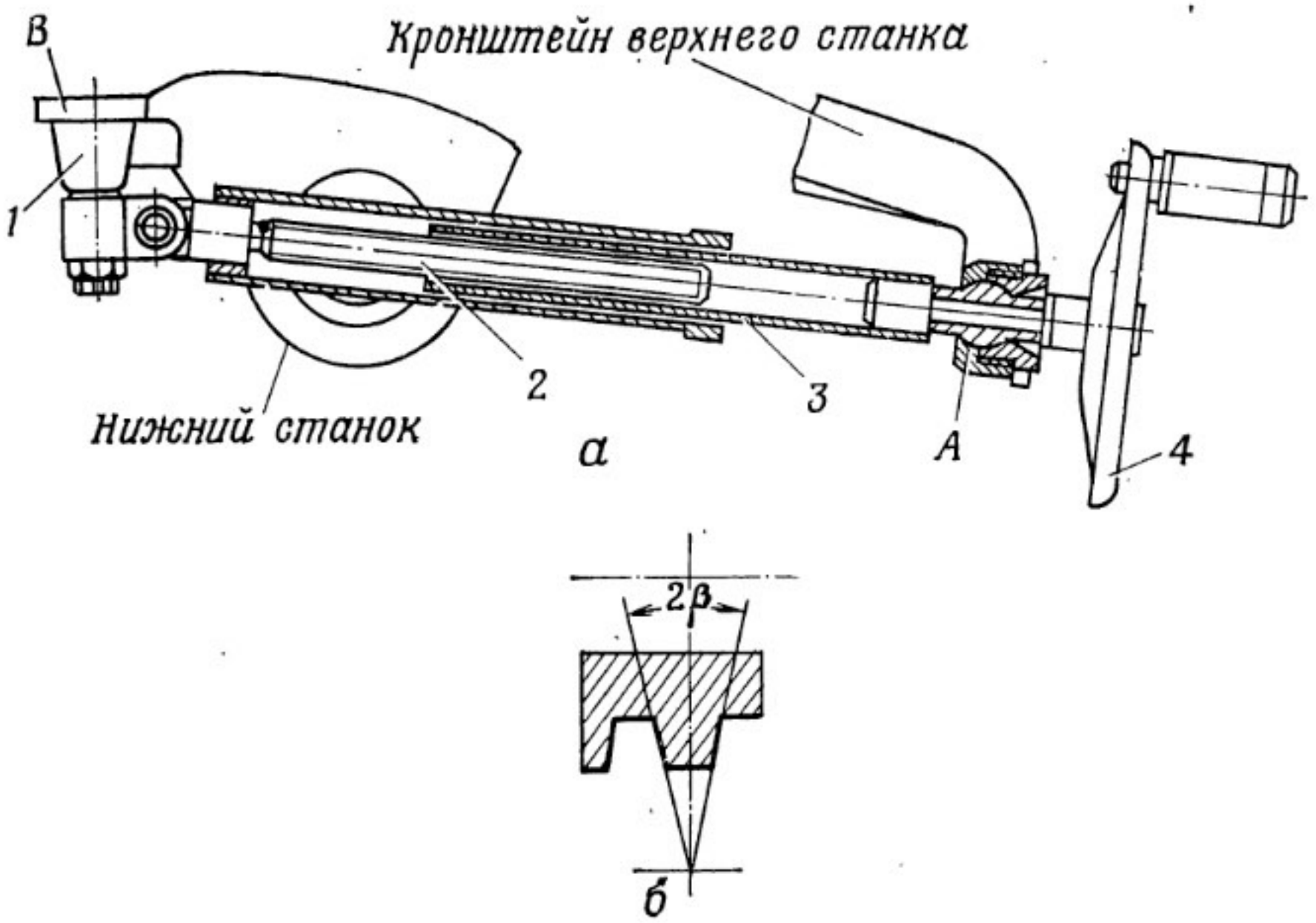


Рис. 14.12. Винтовой поворотный механизм:

а — основные конструктивные элементы винтового поворотного механизма: *1* — палец; *2* — ходовой винт; *3* — матка; *4* — маховик; *A* — кронштейн верхнего станка; *B* — нижний станок; *б* — профиль трапецеидальной нарезки

где $\omega_г$ — угловая скорость горизонтальной наводки;

$\omega_м = \frac{\pi n}{30}$ — угловая скорость маховика;

n — число оборотов маховика в минуту.

Угловая скорость

$$\omega_г = \psi = \frac{d\theta}{dt},$$

значит

$$i = \frac{\pi n}{\frac{d\theta}{dt} \cdot 30}. \qquad (14.40)$$

Для определения производной $\frac{d\theta}{dt}$ рассмотрим кинематическую схему механизма (рис. 14.13), где:

$BO_1 = a$ — расстояние от точки B до оси боевого штыря;

OO_1 — ось боевого штыря;

$AO = A_1O_1 = \rho = \text{const}$ — расстояние от точки A до оси боевого штыря;

$AA_1 = b = \text{const}$ — расстояние между точками A и B в вертикальной плоскости;

$AB = l$ — расстояние между точками A и B;

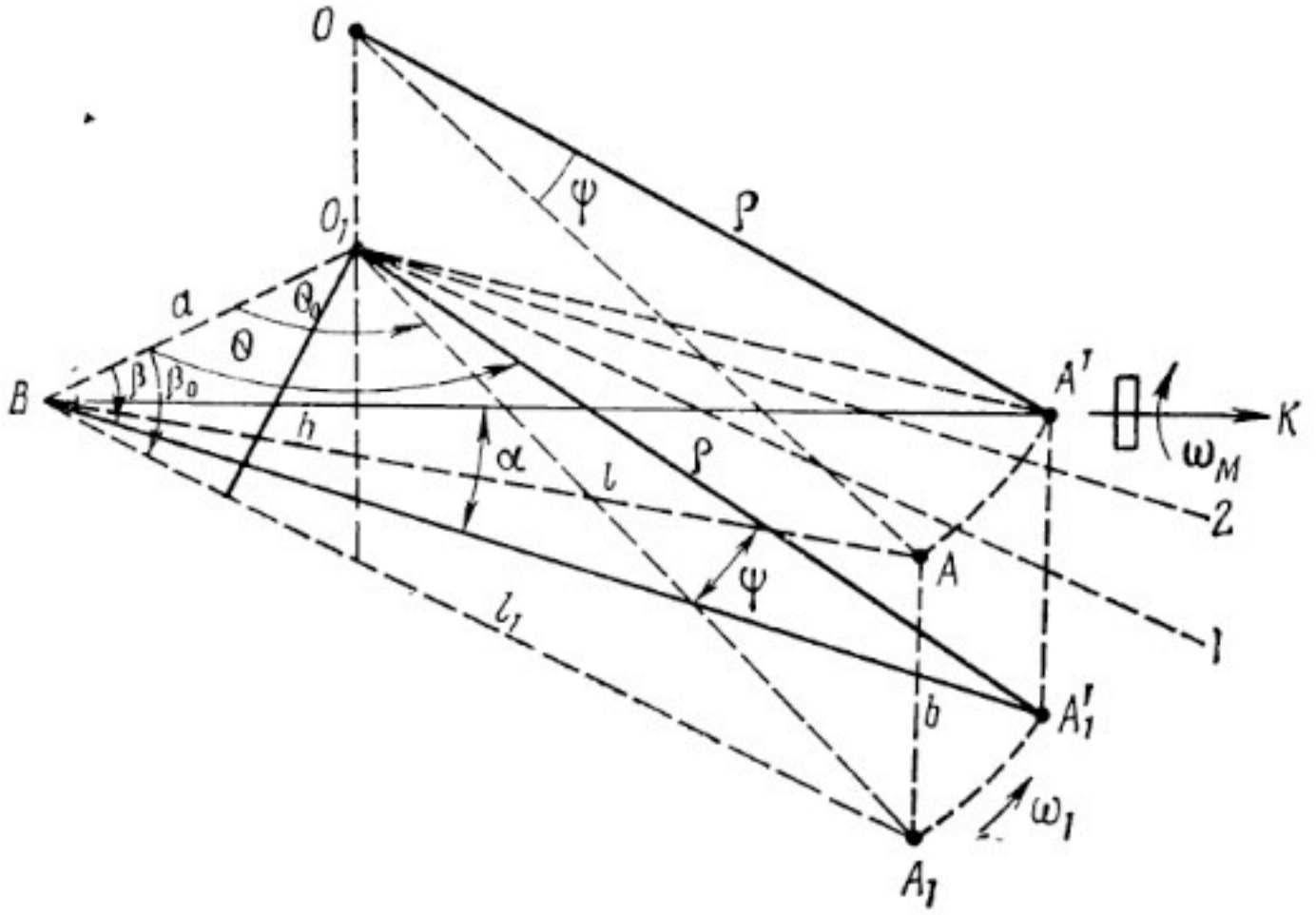


Рис. 14.13. Кинематическая схема винтового поворотного механизма

$A_1B = l_1$ — расстояние между точками A и B в горизонтальной плоскости;

θ_1, θ_0 — соответственно угол между отрезками a и ρ в горизонтальной плоскости при данном угле поворота ϕ и при $\phi = 0$;

к — реакция винта на вращающуюся часть орудия при указанном стрелкой направлении вращения;

h — длина перпендикуляра, опущенного из точки O на горизонтальную проекцию оси ходового винта AB;

1 — начальное положение оси канала ствола;

2 — промежуточное положение оси канала ствола;

α — угол наклона оси ходового винта к горизонтальной плоскости.

Начальное положение механизма показано штриховыми линиями, промежуточное — сплошными.

Из треугольника $A_1'O_1B$ имеем

$$l_1^2 = a^2 + \rho^2 - 2a\rho\cos\theta. \qquad (14.41)$$

Из треугольника $A'BA_1'$ определяем

$$l_1 = l\cos\alpha. \qquad (14.42)$$

Подставляем значение l_1 из выражения (14.42) в зависимость (14.41), продифференцируем ее по времени t, принимая $\alpha = \text{const}$; так как в процессе наводки α изменяется незначительно, получим

$$2l\cos^2\alpha\frac{dl}{dt} = 2a_\rho\sin\theta\frac{d\theta}{dt}. \qquad (14.43)$$

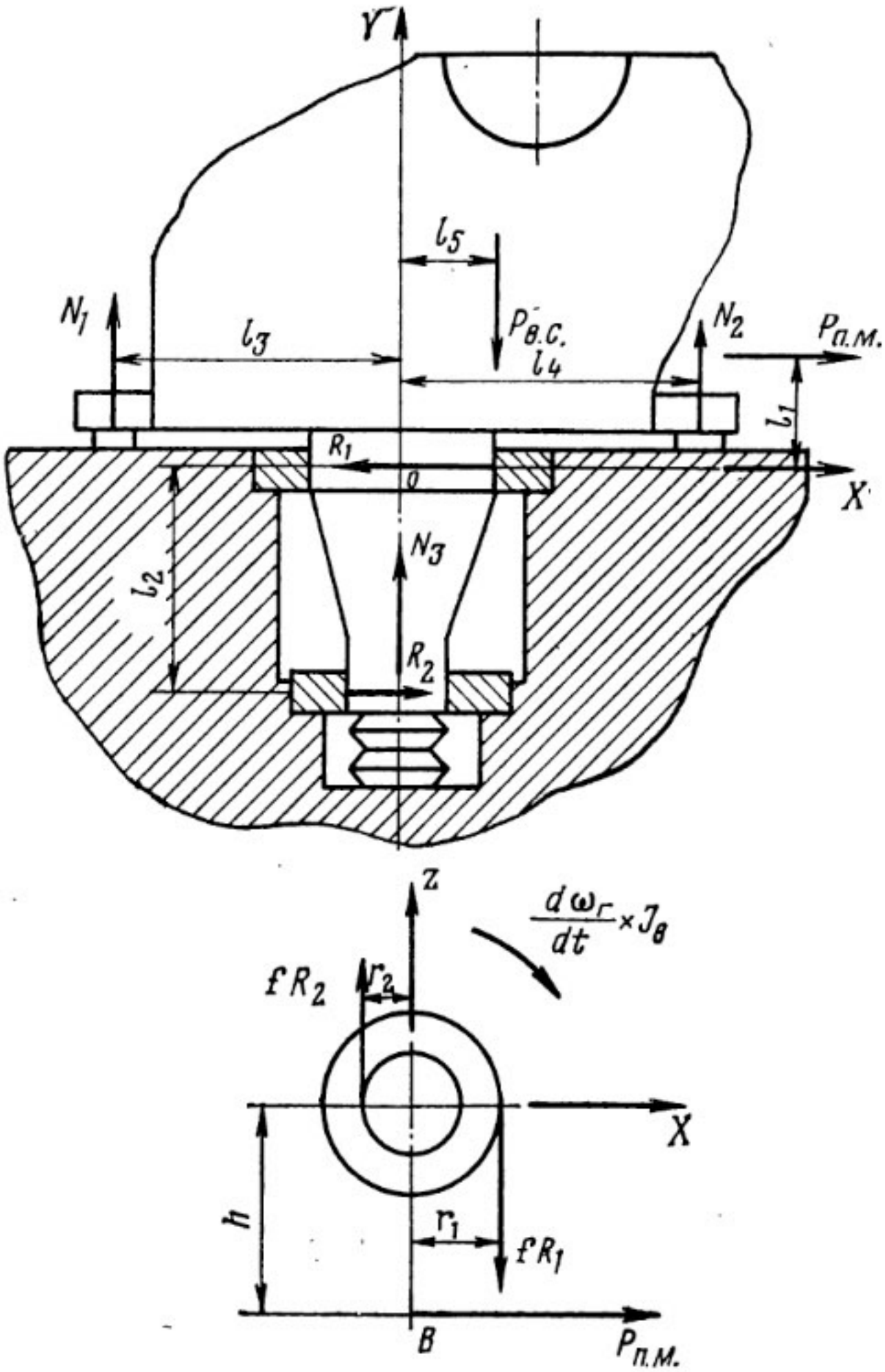


Рис. 14.14. Схема сил, действующих на верхний станок

В этом уравнении член $\frac{dl}{dt}$ есть скорость изменения длины линии AB, которая равна

$$\frac{dl}{dt} = s\frac{n}{60}, \qquad (14.44)$$

где s — шаг резьбы винта (матки);
n — число оборотов маховика в минуту.

Подставляя значение $\frac{dl}{dt}$ из выражения (14.44) в зависимость (14.43) и решая его относительно $\frac{d\theta}{dt}$, получим

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{l}{a\rho} \cdot \frac{sn}{60} \cdot \frac{\cos^2 \alpha}{\sin \theta}. \tag{14.45}$$

Подставляя значение $\frac{d\theta}{dt}$ в выражение (14.40), имеем

$$i = \frac{2\pi a}{s} \cdot \frac{\rho}{l} \cdot \frac{\sin \theta}{\cos^2 \alpha}. \tag{14.46}$$

Анализ выражения (14.46) показывает, что при работе на винтовом поворотном механизме передаточное число изменяется, а это приводит к ухудшению плавности наводки.

На верхний станок во время наведения действуют следующие внешние силы и реакции (рис. 14.14):

$P_{пм}$ — сила, осуществляющая поворот всей вращающейся части;

$P_{в.с.}$ — сила тяжести вращающейся части;

N_1, N_2, N_3 — реакции нижнего станка на верхний в подпятнике и на катках;

$I_в$ — момент инерции вращающейся части при $\varphi = 0$;

R_1, R_2 — реакции подшипников нижнего станка;

f — коэффициент трения в подшипниках боевого штыря;

$\frac{d\omega_г}{dt}$ — угловое ускорение вращающейся части.

Остальные обозначения ясны из рисунка.

Для определения зависимости усилия $P_{пм}$ от сил, действующих на верхний станок, необходимо составить уравнения равновесия. При этом для простоты выкладок будем полагать, что сила $P_{пм} \parallel R_1$ и R_2, тогда получим следующие уравнения равновесия:

$$\left.\begin{aligned} \sum F_x &= P_{пм} - R_1 + R_2 = 0; \\ \sum F_y &= -P_{в.с.} + N_1 + N_2 + N_3 = 0; \\ \sum M_y &= P_{пм} h - fR_1 r_1 - fR_2 r_2 - I_в \frac{d\omega_г}{dt} = 0; \\ \sum M_z &= -P_{пм} l_1 - R_2 l_2 - P_{в.с.} l_5 - N_1 l_3 + N_2 l_4 = 0. \end{aligned}\right\} \tag{14.47}$$

Решая систему уравнений (14.47) относительно $P_{пм}$, определим

$$P_{пм} = \frac{I\frac{d\omega_г}{dt} + fn_2 [P_{в.с.}(l_4 - l_5) + N_1 (l_3 + l_4) + N_3 l_4]}{h - fn_1}, \tag{14.48}$$

где $n_1 = r_1 + \frac{l_1}{l_2}(r_1 + r_2)$; $n_2 = \frac{r_1 + r_2}{l_2}$ — постоянные для данной схемы верхнего станка.

Максимальное значение усилия $P_{пм max}$ будет при $\left(\frac{d\omega_г}{dt}\right)_{max}$ и h_{min}.

Максимальное значение углового ускорения определяется по формуле

$$\left(\frac{d\omega_г}{dt}\right)_{max} = \frac{\pi n}{30 i_{мех} t_{разг}}, \qquad (14.49)$$

где n — число оборотов маховика;
$t_{разг}$ — время разгона ($t_{разг} = (0{,}12 \div 0{,}17)$ с).

Усилие, прикладываемое к рукоятке маховика в период разгона, можно определить по формуле

$$P_р = \frac{r_{ср}}{r_м} P_{пм\,max} \operatorname{tg}(\alpha + \rho'), \qquad (14.50)$$

где $r_{ср}$ — средний радиус нарезки винта;
$r_м$ — радиус маховика;
α — угол подъема винтовой линии (по среднему диаметру нарезки винта);
ρ' — приведенный угол трения в нарезке винта.

Для трапецеидальной нарезки, применяемой в винтовом поворотном механизме, будем иметь

$$\rho' = \operatorname{arctg} \frac{f}{\cos \beta},$$

где f — коэффициент трения между винтом и маткой;
β — половина угла профиля трапецеидальной нарезки (рис. 14.12, *б*).

Для обеспечения самоторможения винтовой пары необходимо иметь

$$\alpha < \rho'.$$

Величина усилия $P_р$, определенная по формуле (14.50), не должна превышать установленных норм.

Расчет деталей механизма на прочность производится на усилия, которые возникают при внезапном прекращении наводки, так как они значительно превосходят усилия, действующие во время наводки.

В случае резкой остановки вращающейся части принимается, что вся кинетическая энергия вращающихся масс переходит в потенциальную энергию упругой деформации деталей механизма. Для упрощения расчета предполагается, что деформации подвергаются винт на длине l_1 и матка на длине l_2 (рис. 14.15), а остальные детали остаются недеформированными (абсолютно жесткими).

Сила, которая вызывает деформацию винта и матки, определяется по формуле

$$P = \sqrt{\frac{I_в \omega_г^2}{\frac{l_1}{E_1 F_1} + \frac{l_2}{E_2 F_2}}},$$

где F_1, F_2 — площади поперечного сечения винта и матки;
E_1, E_2 — модули упругости первого рода для винта и матки.

Зная величину силы P, можно рассчитать вызываемое ею напряжение в винте и матке.

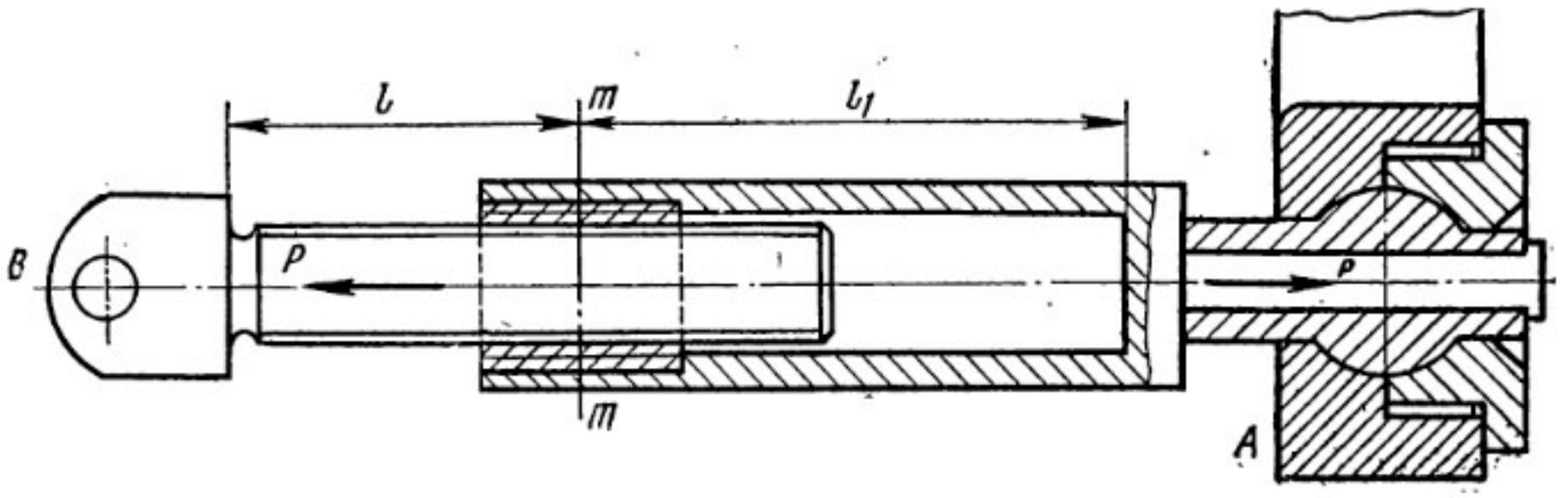


Рис. 14.15. Ходовой винт с маткой

Механизм вертикальной наводки, имеющий основную кинематическую пару, состоящую из шестерни и зубчатого сектора, называется секторным подъемным механизмом.

Секторный подъемный механизм (рис. 14.16) состоит из зубчатого сектора *2*, прикрепленного к цапфенной обойме люльки *1*, коренного вала *6* с шестерней *3*, находящейся в зацеплении с сектором. Вал установлен в подшипниках верхнего станка, и на одном конце его закреплено червячное колесо *7*, приводимое в движение червяком *8*. Валик последнего посредством конической пары *4* соединен с валиком маховика *5* подъемного механизма.

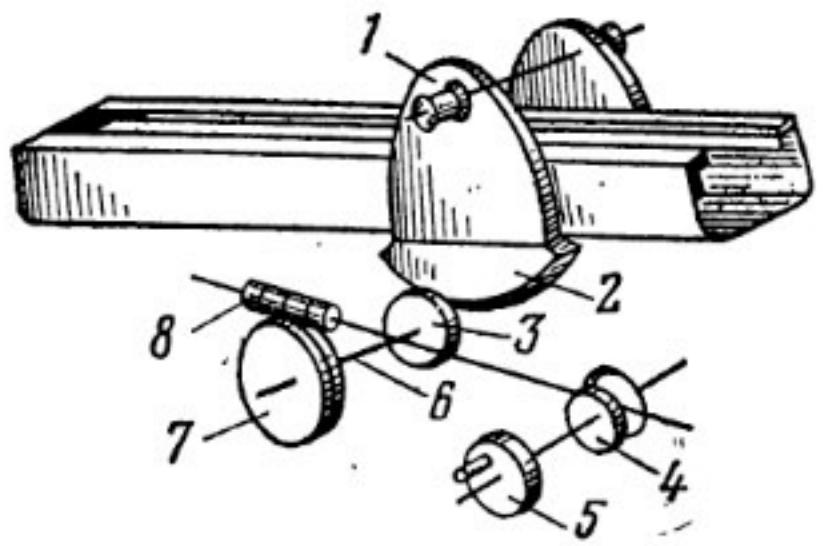


Рис. 14.16. Секторный подъемный механизм:

1 — люлька; *2* — зубчатый сектор; *3* — шестерня коренного вала; *4* — коническая пара; *5* — маховик; *6* — коренной вал; *7* — червячное колесо; *8* — червяк

При вращении маховика приходит во вращение червяк, который заставляет вращаться червячное колесо и связанный с ним коренной вал с шестерней. Последняя, находясь в зацеплении с зубчатым сектором, вынуждает качающуюся часть поворачиваться в плоскости, перпендикулярной оси цапф, благодаря чему и осуществляется вертикальная наводка ствола.

Звеном, обеспечивающим самоторможение механизма служит червячная пара (червяк с червячным колесом), которая воспринимает усилие, возникающее при выстреле в подъемном механизме; другие детали, расположенные за червяком, находятся только под действием сил, возникающих при наведении.

Иногда червяк закрепляется так, что имеет возможность несколько перемещаться в осевом направлении, сжимая тарельчатые пружины. Такое упругое закрепление червяка применяется для

того, чтобы усилия, воспринимаемые червячной парой при выстреле и при резком прекращении наводки, по характеру своего действия приближались к статическим и поэтому не могли бы вызвать высоких напряжений в зубьях червячного колеса.

Передаточное число секторного подъемного механизма должно удовлетворять условию

$$i_{\text{мех}} = \frac{6n}{\varphi'}, \qquad (14.51)$$

где n — число оборотов маховика (при ручном приводе $n = 90 \div 120$ об/мин);

φ' — требуемая скорость наводки, устанавливается тактико-техническими требованиями, град/с.

Исходя из кинематической схемы механизма (рис. 14.16)

$$i_{\text{мех}} = i_1 i_2 i_3,$$

где i_1, i_2, i_3 — передаточные числа конической, червячной и цилиндрической передач.

Так как

$$i_1 = \frac{Z_2}{Z_1}, \quad i_2 = \frac{Z_4}{Z_3} \text{ и } i_3 = \frac{Z_6}{Z_5},$$

то

$$i_{\text{мех}} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_6}{Z_5},$$

где Z_2, Z_6 — число зубьев ведомых шестерен;

Z_1, Z_5 — число зубьев ведущих шестерен;

Z_3 — число зубьев червячного колеса;

Z_4 — число заходов червяка.

Как правило, передаточное число конических пар $i_1 = 1 \div 2$. Прежде чем установить величину i_3, определяют число зубьев Z_6 и Z_5. Из курса деталей машин известно, что для тихоходных передач минимальное количество зубьев должно быть не менее 12. Исходя из этого принимают число зубьев для коренной шестерни $Z_5 = 12 \div 16$, после чего определяют модуль зацепления по формуле

$$m = 1{,}28 \sqrt[3]{\frac{M_{\text{к}} к_{\text{к}} к_{\text{д}}}{Z_5 \psi_m y_1 [\sigma_{\text{и}}]}} \text{ [см]}, \qquad (14.52)$$

где $\psi_m = 8 \div 15$ — относительная ширина коренной шестерни;

$y_1 = 0{,}14\left(1 + \frac{20}{Z}\right)$ — коэффициент формы зуба;

$[\sigma_{\text{и}}]$ — допустимое напряжение на изгиб;

$к_{\text{д}} = 1 \div 1{,}1$ — коэффициент динамической нагрузки;

$к_{\text{к}} = 1{,}08 \div 1{,}10$ — коэффициент концентрации нагрузки;

$M_{\text{к}}$ — момент, действующий на зуб шестерни.

Округлив полученное значение модуля до ближайшего по ГОСТ, находят шаг зацепления

$$t = \pi m.$$

Число зубьев полной окружности сектора

$$Z_6 = \frac{2\rho}{m},$$

где $\rho \cong 5d$ — радиус начальной окружности сектора, где d — калибр; радиус ρ округляют до получения целого числа Z_6; число зубьев сектора Z_c определяют по формуле

$$Z_c = \frac{\Delta\varphi}{180} \cdot \frac{\rho}{m} + 2, \qquad (14.53)$$

где $\Delta\varphi$ — сектор вертикального наведения от φ_{min} до φ_{max}. Два зуба принимаются как запасные.

Таким образом, передаточное число $i_3 = \frac{Z_в}{Z_б}$ определено.

Из условия самоторможения червячной пары число заходов червяка Z_3 берется равным единице, т. е. $Z_3 = 1$. Тогда $i_{мех} = i_1 Z_4 i_3$, откуда число зубьев червячного колеса

$$Z_4 = \frac{i_{мех}}{i_1 i_3}.$$

Число зубьев червячного колеса должно быть не менее 28 для некоррегированных передач.

На червяк при выстреле действует окружное усилие

$$P_r = R_{max} \cos\alpha \frac{r_б}{r_4}, \qquad (14.54)$$

где R_{max} — реакция коренной шестерни на сектор люльки;
α — угол зацепления в эвольвентном профиле; согласно ГОСТ $\alpha = 20°$;
r_4 — радиус червячной шестерни;
r_5 — радиус коренной шестерни.

Реакция коренной шестерни на сектор люльки определяется на основании [6] по формуле

$$R_{max} = \frac{1}{\rho \cos\alpha}\left(\mu P_{кн\ max}\, l + Rd + \Delta M - \frac{1}{g} M_0 x \cos\varphi\right),$$

где R — сила сопротивления откату;
d — расстояние по перпендикуляру от линии перемещения центра тяжести откатных частей до оси цапф;
ΔM — момент неуравновешенности;
x — текущие значения длины отката;
M_0 — масса откатных частей;
α — угол зацепления;
μ — коэффициент учета упругих свойств качающейся части:

$$\mu = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}\right).$$

По величине окружного усилия P_r определяют параметры (шаг t, модуль m, число зубьев Z) червяка и червячного колеса.

Механизм горизонтального наведения, имеющий основную кинематическую пару, состоящую из шестерни и зубчатого сектора, называется секторным поворотным механизмом.

Схема устройства такого механизма показана на рис. 14.17. Основное отличие секторного поворотного механизма от подобного подъемного механизма состоит в том, что сектор *2* является неподвижным, а маховик *8* вместе с червячной парой, заключенной в коробке *5*, шестерней *3* и верхним станком *7* вращается относительно оси (штыря) с угловой скоростью ω.

Действие такого механизма заключается в следующем. При вращении маховика движение передается червяку, который заставляет вращаться червячное колесо и связанный с ним вал шестерни. Последняя, находясь в зацеплении с зубчатым сектором лобовой коробки, заставляет вращающуюся часть орудия поворачиваться вокруг оси нижнего станка.

Звеном, обеспечивающим самоторможение механизма, является червячная пара (червяк и червячное колесо). Поэтому усилия, возникающие при выстреле и резком прекращении наводки со стороны вращающейся части, передаются в поворотном механизме на детали до червячного зацепления.

В большинстве конструкций для исключения поломки зубьев червячного колеса она закрепляется на вале зубчатой шестерни так, что может несколько поворачиваться относительно оси вращения. Такая подвижность соединения осуществляется посредством фрикционного устройства (рис. 14.18), основой которого являются три пары дисков. Каждая пара состоит из стального и бронзового дисков. Стальные диски *2* с помощью шлицев жестко связаны с валом *5* зубчатой шестерни, а бронзовые *6* жестко связаны с червячным колесом *1* с помощью выступов. Поверх всех дисков устанавливаются стальной верхний диск и тарельчатые пружины, которые поджимаются гайкой *3*, навинчиваемой на хвостовик вала. Таким образом, червячное колесо соединяется с валом посредством трения между стальными и бронзовыми дисками.

При работе механизма вращение червячного колеса благодаря трению между дисками передается на вал зубчатой шестерни, которая, обкатываясь по сектору, поворачивает вращающуюся часть. При резком прекращении вращения маховика поворотного механизма вращающаяся часть, двигаясь по инерции, передает вращение на зубчатую шестерню с валом и червячное колесо. Червячное колесо с червяком тормозят движение вращающейся части. Если сила инерции вращающейся части большая, то зубчатая шестерня с валом будет проворачиваться относительно червячного колеса и тем самым исключит поломку зубьев червячного колеса.

Передаточное число секторного поворотного механизма

$$i_{мех} = (1 + i_0)\, i_1 i_2 i_3, \ldots, i_n, \qquad (14.55)$$

где $i_0 = \frac{Z_c}{Z_з}$ — передаточное число основной пары;

n — число пар зубчатых передач механизма, за исключением основной пары.

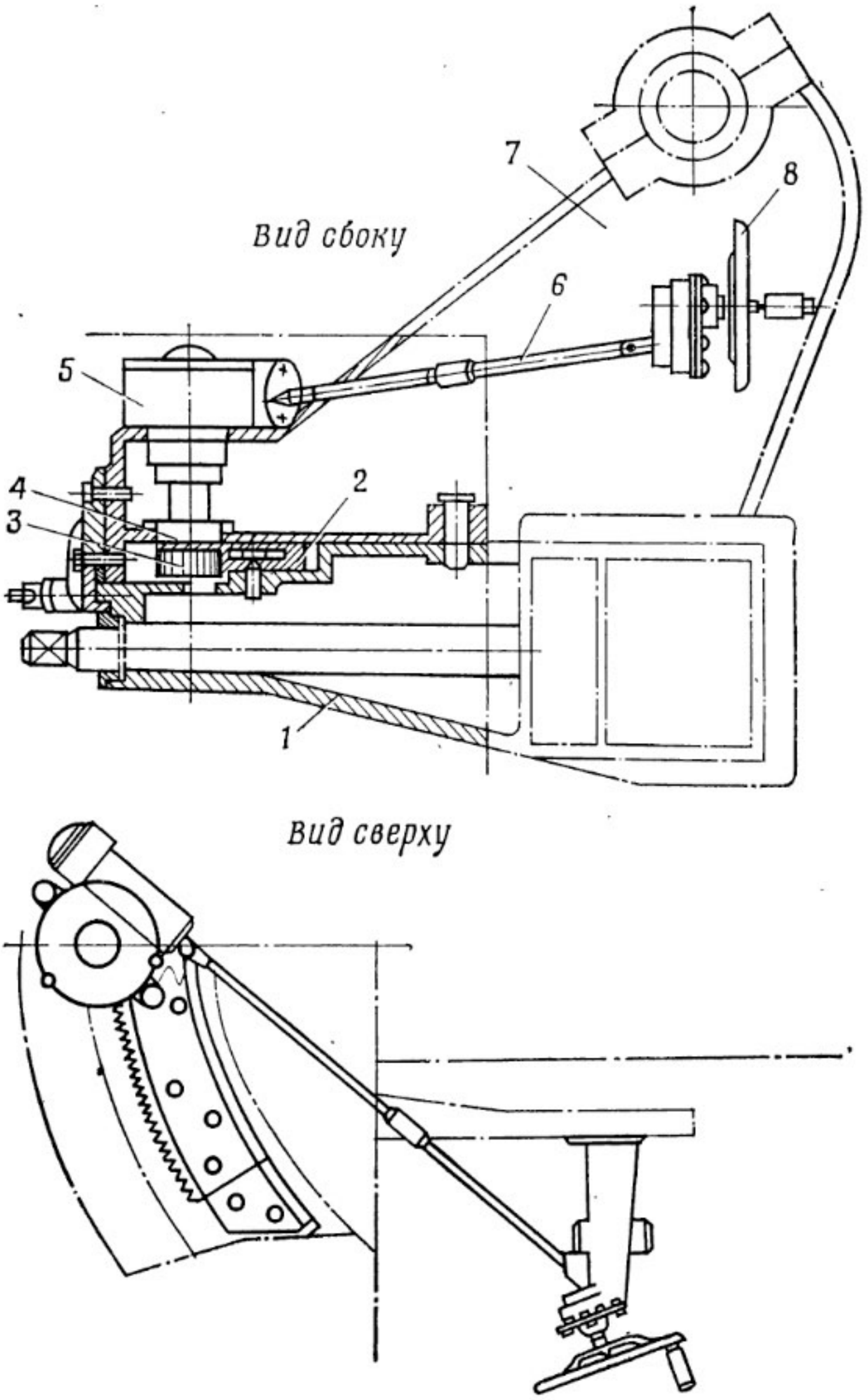


Рис. 14.17. Секторный поворотный механизм:

1 — лобовая коробка нижнего станка; *2* — зубчатый сектор; *3* — шестерня; *4* — вал; *5* — коробка; *6* — передаточный валик; *7* — верхний станок; *8* — маховик

Таким образом, при неподвижном секторе передаточное число механизма будет выше из-за того, что передаточное число основной пары увеличивается на единицу.

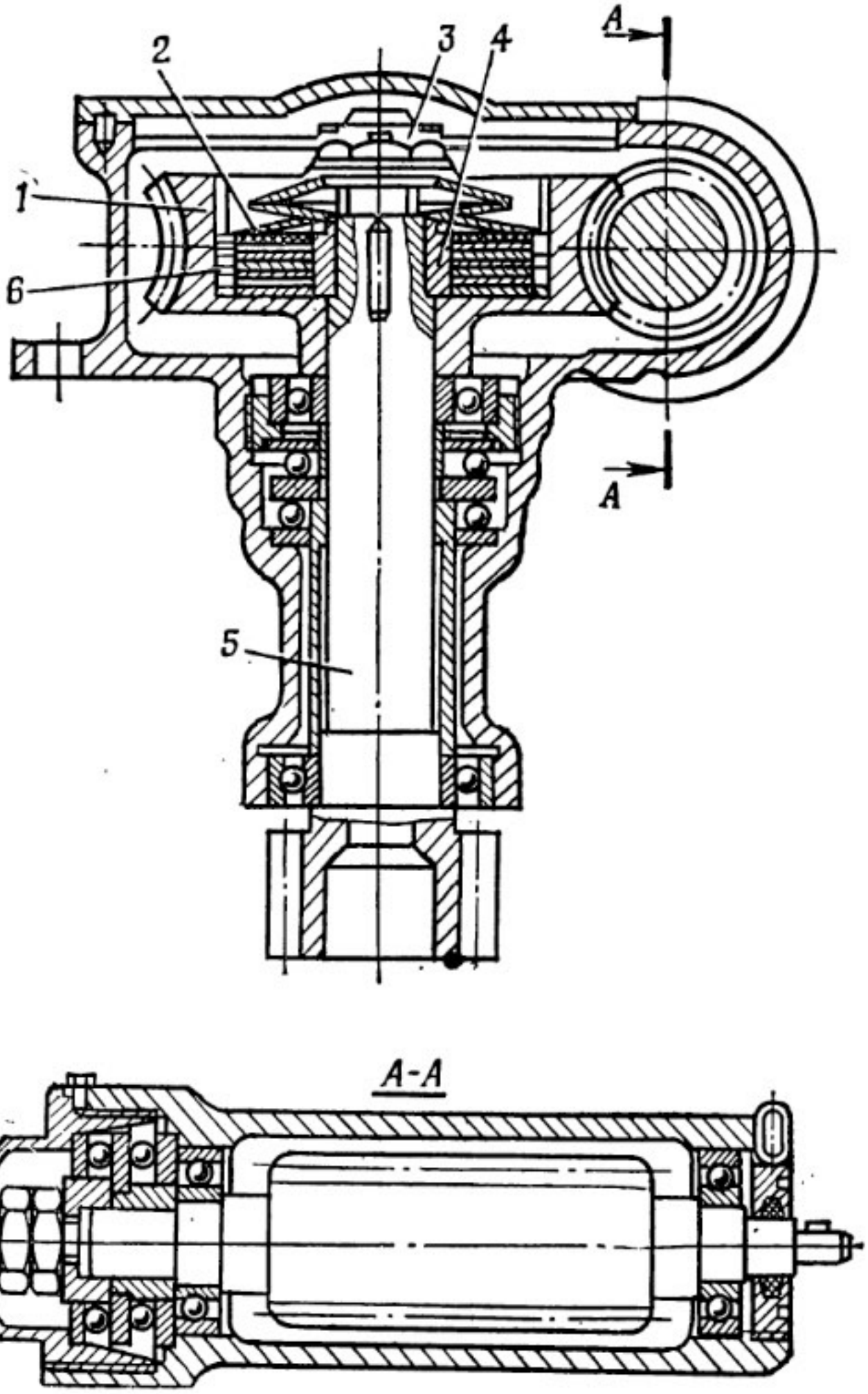


Рис. 14.18. Фрикционное устройство:
1 — червячное колесо; *2* — стальные диски; *3* — гайка; *4* — шпонки; *5* — вал зубчатой шестерни; *6* — бронзовые диски

Расчет зубьев червячного колеса на прочность производят по наибольшему усилию $P_к$, которое будет действовать в червячной передаче при внезапном прекращении наводки.

Величину $P_к$ определяют по формуле

$$P_к = \frac{M_{фр}}{r_к}, \qquad (14.56)$$

где $M_{фр}$ — момент трения во фрикционе;
$r_к$ — радиус начальной окружности червячного колеса.

Величина момента трения во фрикционе $M_{фр}$ определяется по формуле

$$M_{фр} = \frac{2}{3}\mu Z P_c \frac{\rho_2^2 - \rho_1^3}{\rho_2^2 - \rho_1^2}, \qquad (14.57)$$

где μ — коэффициент трения между дисками фрикциона;
P_c — сила, сжимающая диски (сила тарельчатых пружин);
ρ_2, ρ_1 — наружный и внутренний радиусы рабочих поверхностей дисков фрикциона;
Z — число рабочих поверхностей во фрикционе:

$$Z = n - 1;$$

n — число дисков.

Для вращения поворотной части ведущим звеном (маховиком) необходимо выполнять условие

$$M_{фр} > M_з,$$

где $M_з$ — момент зубчатой шестерни в период разгона, равный моменту на червячном колесе.

Из зависимости (14.35), подставляя вместо момента инерции качающейся части момент инерции вращающейся части, определяется величина момента

$$M_з = \frac{1}{i_{мех}\eta_{мех}}\left(M_{тр} + \frac{I_{вч}\omega_г^2}{t_{разг}}\right). \qquad (14.58)$$

Угол поворота вращающейся части $\alpha_в$ после быстрого прекращения работы поворотного механизма находят по формуле

$$\alpha_в = \frac{I_{вч}\omega_г^2}{2M_{фр}i_0}, \qquad (14.59)$$

где $\omega_г$ — скорость горизонтального наведения при прекращении работы на поворотном механизме;
i_0 — передаточное число основной кинематической пары (сектора и шестерни).

Величина угла $\alpha_в$ должна быть в пределах 2′—5′. Бóльшая величина угла $\alpha_в$ говорит о недостаточности момента трения в фрикционе $M_{фр}$.

§ 14.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ

Электрические приводы предназначаются для приведения в действие механизмов наведения орудия. Их применение позволяет автоматизировать процесс и увеличить скорость наведения, а также облегчить работу расчета.

Как правило, электрические приводы состоят из следующих блоков и узлов (рис. 14.19): управляющего, усилительного, исполнительного и стабилизирующего блоков, источника энергии, предохранительного узла.

Управляющий блок вырабатывает управляющий сигнал различной величины и полярности. Он обычно состоит из потен-

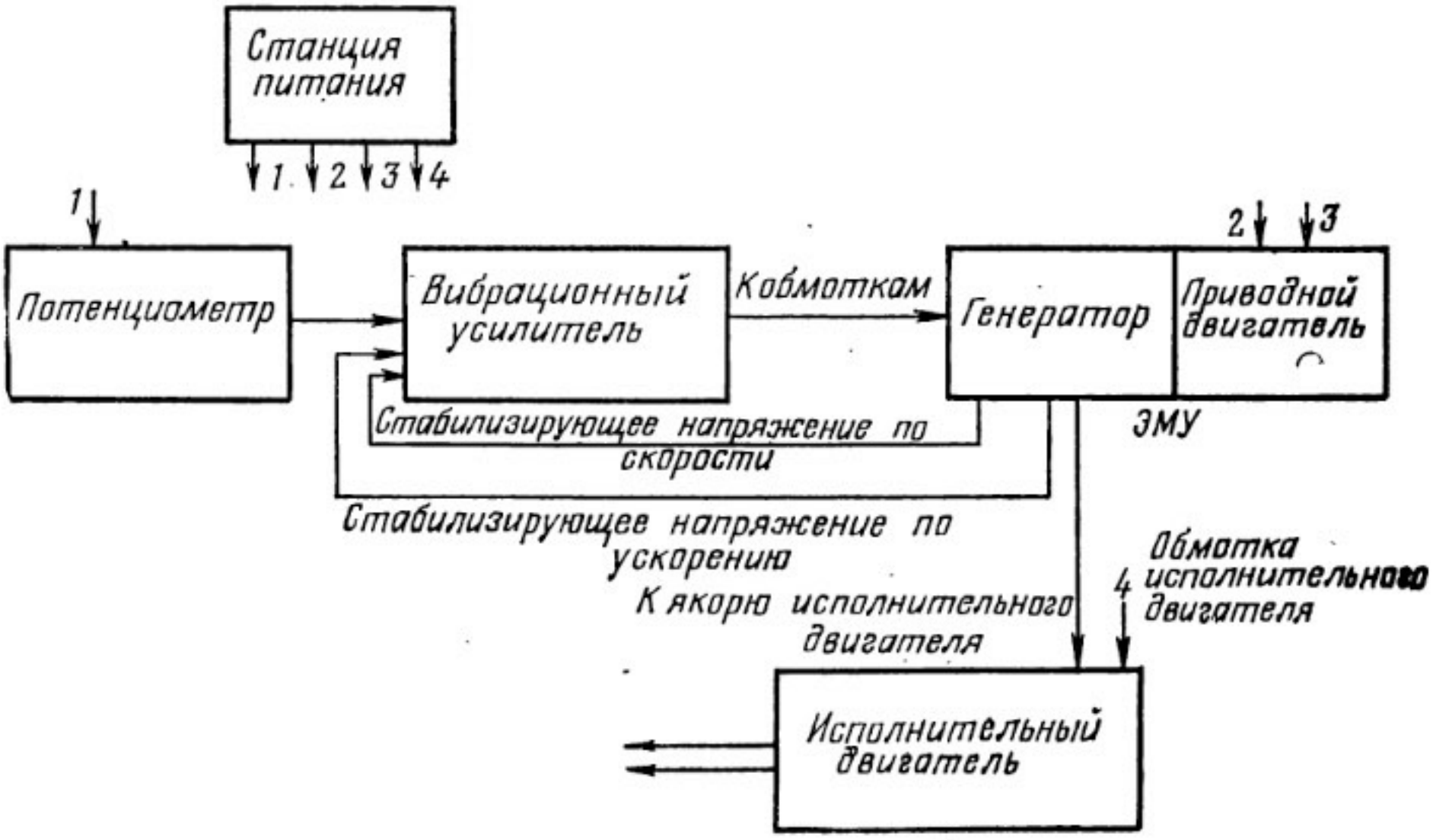


Рис. 14.19. Блок-схема электропривода

циометра и делителя напряжения, а размещается, как правило, в пульте управления привода.

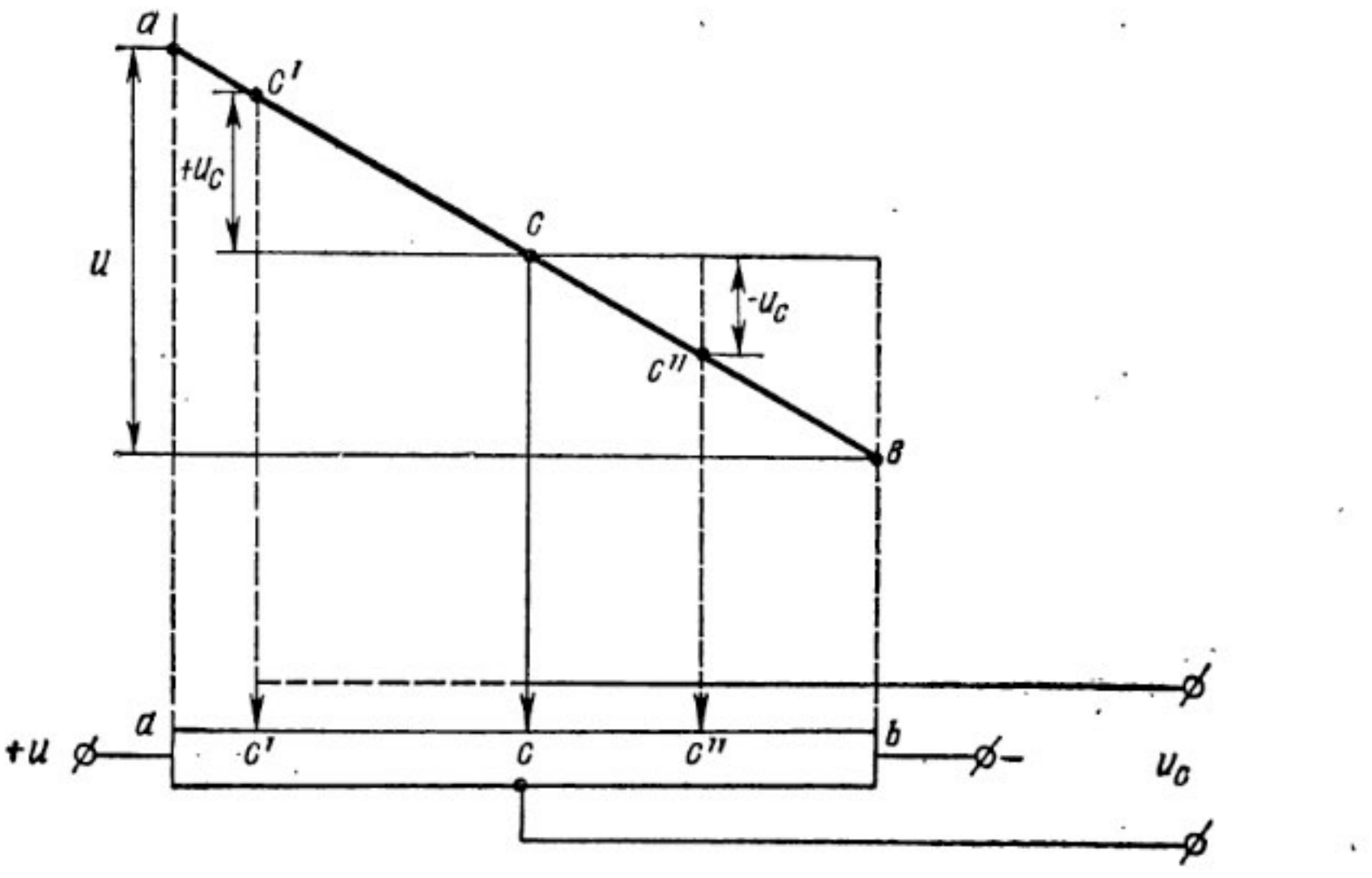


Рис. 14.20. Принципиальная схема управляющего блока

Принципиальная схема управляющего блока представлена на рис. 14.20.

Управляющий сигнал снимается с точки O делителя напряжения и подвижного контакта потенциометра K. При положении подвижного контакта K в точке O' получают сигнал напряжения $+u_c$, а при положении подвижного контакта в точке O'' — сигнал $-u_c$, т. е. в зависимости от положения подвижного контакта K,

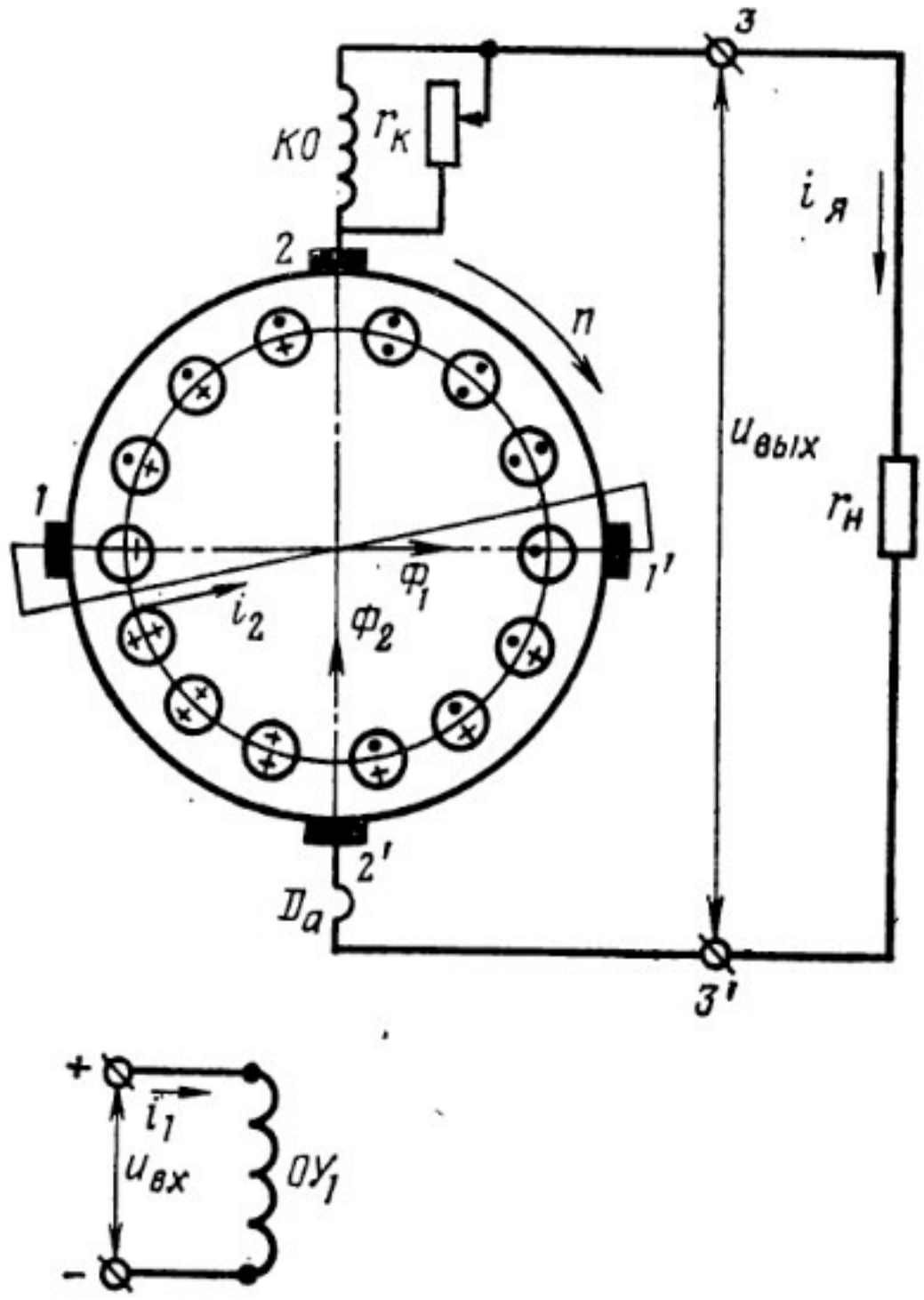


Рис. 14.21. Электрическая схема ЭМУ

который перемещается наводчиком, получают сигнал требуемой величины и полярности, а следовательно, производят наводку с необходимой скоростью и в требуемом направлении.

Усилительный блок предназначен для усиления управляющего сигнала до мощности, достаточной для приведения в действие исполнительного двигателя. Как правило, усилительный блок состоит из вибрационного усилителя и электромашинного усилителя (ЭМУ).

Вибрационный усилитель выполняет роль как предварительного усилителя управляющего сигнала, так и переключателя обмоток ЭМУ, а электромашинный усилитель — окончательного.

ЭМУ — это устройство, позволяющее сигнал малой мощности усиливать до мощности, необходимой для приведения во вращение исполнительного двигателя. ЭМУ является агрегатом, состоящим из генератора и приводного двигателя, сидящих на одном валу. Одна из возможных электрических и конструктивных схем такого усилителя представлена на рис. 14.21. На коллекторе генератора

расположены две пары щеток: *1—1* и *2—2*. Щетки *1—1*, выполняющие в генераторе роль основных щеток, замкнуты накоротко. К щеткам *2—2* присоединена внешняя цепь с нагрузкой $r_н$.

При протекании относительно небольшого управляющего тока в обмотке управления $ОУ_1$, которая является входом усилителя, в генераторе возникает магнитный поток $Ф_1$. Этот поток индуктирует э. д. с. в обмотке вращающегося якоря. Под действием этих э. д. с. в обмотке якоря, замкнутой накоротко, через щетки *1—1* течет ток i_2, совпадающий по направлению с э. д. с. Этот ток оказывается достаточно большим, так как сопротивление замкнутой якорной обмотки мало.

Ток i_2 вызывает появление потока реакции якоря $Ф_2$, неподвижного в пространстве и перпендикулярного потоку $Ф_1$. Поток $Ф_2$ значительно больше потока $Ф_1$, поскольку вызвавший его ток i_2 достаточно велик, а магнитное сопротивление пути замыкания потока $Ф_2$ относительно мало. Проводники обмотки якоря пересекают магнитные линии потока $Ф_2$, и в них возникает э. д. с., которая на выходе усилителя (зажимы *3—3*) вызывает появление напряжения $u_{вых}$, используемого для питания обмотки исполнительного двигателя.

Данная схема ЭМУ позволяет получить коэффициент усиления мощности управления:

$$K_у = \frac{P_{нагр}}{P_в} = 2500 \div 10\,000,$$

где $P_{нагр}$ — мощность, отдаваемая генератором исполнительного двигателя;

$P_в$ — мощность управляющего сигнала.

Следует отметить, что ток $i_я$, протекающий по сопротивлению нагрузки и в обмотках якоря, вызывает появление потока реакции якоря, который устраняется компенсационной обмоткой *КО*, размещенной на внутренней поверхности статора и соединенной последовательно с обмоткой якоря (степень компенсации можно регулировать изменением сопротивления $r_к$). Для улучшения условий коммутации усилитель снабжен дополнительными полюсами с обмоткой *ДО*.

Исполнительный блок преобразует электрическую энергию в механическую, т. е. непосредственно приводит в действие механизмы наведения. Основным звеном этого блока служит электрический двигатель с независимым возбуждением. Направление вращения и мощность, вырабатываемая этим двигателем, зависят от величины и полярности сигнала, подаваемого на якорную обмотку с ЭМУ.

Стабилизирующий блок обеспечивает устойчивую работу электропривода при малых (доводочных) скоростях наведения, а также уменьшает время разгона и торможения привода (форсирование переходных процессов). Стабилизация работы привода осуществляется с помощью электрического сигнала отрица-

тельной обратной связи, пропорционального скорости вращения исполнительного двигателя.

Источник энергии предназначен для выработки электрической энергии, которая идет на приведение в действие блоков электрического привода.

Предохранительный узел обеспечивает автоматическое выключение электрического привода при походном положении орудия, при подходе вращающейся или качающейся части орудия к предельным углам наведения и при нарушении нормальной работы привода. Основными элементами предохранительного узла являются ограничители углов наведения, концевые выключатели и другие специальные устройства, которые разрывают электрическую цепь привода в случаях, указанных выше.

Управление работой привода осуществляется с пульта управления, а включение — с панели управления. Принцип действия электрического привода следующий: при включении электрического привода источник энергии начинает вырабатывать электрический ток определенного напряжения, который подается на пульт управления, на приводные двигатели ЭМУ и на обмотку возбуждения исполнительного двигателя. При подаче сигнала с пульта управления последний усиливается в усилительном блоке и подается на якорную обмотку исполнительного двигателя, приводя его якорь во вращение, который приводит в действие исполнительное звено механизма наведения.

К электрическим приводам предъявляются следующие требования:

— электропривод должен иметь мощность, достаточную для наведения орудия с требуемой скоростью;

— система управления приводом должна обеспечивать реверсирование и регулирование скорости наведения орудия;

— электропривод должен обеспечивать заданное время пуска и торможение;

— конструкция электропривода должна обеспечивать удобство эксплуатации, несбиваемость наводки, плавность действия.

§ 14.4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ

При эксплуатации механизмов наведения необходимо следить за тем, чтобы их работа при всех углах наведения была плавной, без рывков, без больших мертвых ходов и с определенным усилием на ведущих звеньях маховика.

Основными причинами увеличения усилия на ведущем звене (маховике) подъемного механизма могут быть следующие: неотрегулированность уравновешивающего механизма, задирины, намины и забоины на зубьях кинематических пар, неотрегулированность зацепления зубчатых передач.

Увеличение усилия на ведущем звене (маховике) поворотного механизма происходит из-за следующих основных причин: не отрегулирован зазор между верхним и нижним станками (мал), по-

явились задирины, забоины на зубчатых передачах, не отрегулированы зубчатые зацепления. Для устранения тугого хода механизмов наведения необходимо определить причину тугого хода, после чего устранить ее способами, указанными в руководствах служб.

Мертвый ход в механизмах наведения образуется из-за наличия зазоров во всех звеньях кинематической цепи. Величина зазора зависит от допусков на обработку, качества сборки, степени износа и величины деформации деталей. Частые разборки и сборки механизмов приводят к увеличению мертвых ходов.

Работа без смазки или с грязной смазкой увеличивает мертвый ход, так как при этом быстрее изнашиваются детали. Чистка деталей с применением наждака, песка и т. п. также вызывает быстрое изнашивание ответственных участков механизмов. Чрезмерно резкие толчки при страгивании качающейся или вращающейся части орудия или резкие остановки при наводке способствуют износу деталей.

При выстреле момент $P_{кн}l$ стремится повернуть ствол и при наличии больших зазоров получаются резкие удары в зубчатых зацеплениях механизмов с последующими разрушениями поверхностей сопряжения.

Большие мертвые ходы увеличивают рассеивание снарядов и делают стрельбу менее эффективной, могут вызывать разрушения механизмов, поэтому величина их должна быть в строго установленных пределах, а при выходе за эти пределы необходимо ее приводить к норме соответствующими регулировками или заменой изношенных деталей.

Все орудия должны иметь отрегулированные уравновешивающие механизмы. Признаком отрегулированности механизма является возможность производить работу подъемным механизмом в обоих направлениях во всем секторе вертикального наведения с установленными усилиями на маховике механизма.

В процессе эксплуатации нормальная работа уравновешивающего механизма может нарушиться по следующим причинам:

— осадка пружин (величина осадки зависит от качества термической обработки пружин и правильности хранения орудия);

— появление значительного трения между цилиндрами и пружинами или штоками (размеры пружин в поперечном направлении изменились за счет остаточных деформаций или появилась вмятина на цилиндре);

— трещина или поломка пружин;

— загрязнение механизма, замерзание влаги, попавшей в механизм;

— деформация цилиндров, штоков, тяг, рычагов и других деталей, передающих усилие от механизма к станку или к люльке;

— неправильная сборка механизма, неверное наполнение механизма жидкостью или газом, утечка газа;

— изменение веса качающейся части орудия вследствие каких-либо операций ремонта;

— резкое изменение температуры окружающей среды для пневматических механизмов.

Прежде чем приступить к регулировке уравновешивающего механизма, следует выявить причины, нарушившие нормальную работу подъемного и уравновешивающего механизмов, и устранить их.

При регулировке необходимо проверить работу уравновешивающего механизма во всем секторе вертикальной наводки. Регулировка пружинных уравновешивающих механизмов производится путем изменения стрелы предварительного поджатия пружин с помощью регулирующей гайки на штоке.

Регулировка пневматических механизмов производится изменением давления и объема газа в колонке в такой последовательности. Сначала необходимо отрегулировать работу механизма при наибольшем угле возвышения (если расположение механизма позволяет это сделать), так как при наибольшем угле возвышения получаются наибольшая неуравновешенность качающейся части и наименьшая сила $P_у$, а затем повторить регулировку при угле возвышения $\varphi = 0°$.

Орудия с пружинным уравновешивающим механизмом необходимо хранить при наибольшем угле возвышения (будет меньшая осадка пружины), а орудия с пневматическим уравновешивающим механизмом — в положении орудия по-походному.

ГЛАВА 15

ХОДОВЫЕ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛАФЕТА

§ 15.1. ЛАФЕТЫ

К лафету относят следующие основные узлы орудия: люльку; противооткатные устройства; верхний станок; механизмы наведения; уравновешивающий механизм; нижний станок со станинами; боевой ход (или просто ход) с подрессориванием; прицельные приспособления; щитовое прикрытие; вспомогательные устройства (краны, лебедки, домкраты, поддоны).

Лафеты современных орудий классифицируются по следующим признакам:

— по способу соединения со стволом: жесткие, упругие;

— по приспособленности к передвижению: подвижные, стационарные.

Если ствол при выстреле не имеет движения относительно лафета, то такой лафет называется жестким, а если имеет, то — упругим. Упругий лафет соединен со стволом через упругую связь (противооткатные устройства), допускающую при выстреле значительное перемещение ствола относительно лафета. Большинство современных орудий имеет упругий лафет, применение которого позволило уменьшить массу орудия, увеличить скорострельность, повысить кучность боя и меткость стрельбы, автоматизировать операции заряжания и разряжания орудия.

Подвижные лафеты — это такие лафеты, которые позволяют перемещать орудие на своем ходу. В свою очередь подвижные лафеты могут быть самоходные, самодвижущиеся и буксируемые с колесными или гусеничными ходовыми частями.

Под самоходными лафетами понимаются лафеты, приспособленные к самодвижению, так как на них смонтирован двигатель. Орудия с самоходным лафетом называются самоходными орудиями.

Самодвижущиеся лафеты — это лафеты, которые могут перемещаться на короткие расстояния за счет энергии работы двигателя, установленного на лафете, а на большие расстояния они буксируются тягачом, так как мощность и ресурс их двигателя

не позволяют перемещать орудие с высокой скоростью и на большие расстояния. Орудия с такими лафетами называются самодвижущимися.

Буксируемые лафеты характеризуются тем, что перемещение их осуществляется только специальным тягачом. Орудия с такими лафетами называются буксируемыми орудиями.

Все орудия наземной артиллерии имеют подвижные лафеты. Стационарные лафеты применяются в конструкции береговых артиллерийских установок, артиллерии укрепрайонов и т. п.

Подвижный лафет является боевым станком при стрельбе и служит средством транспортировки при перемещениях орудия, совершении марша.

К лафету как к боевому станку предъявляются следующие основные требования:

— лафет должен быть прочным при выстреле, а его механизмы должны надежно работать в течение длительного срока эксплуатации в различных боевых условиях;

— лафет должен обеспечивать устойчивость орудия при стрельбе, это весьма важно для скорострельности, кучности боя и меткости стрельбы;

— лафет должен иметь вспомогательные механизмы, обеспечивающие как выравнивание орудия при установке на наклонных поверхностях грунта, так и повышение скорострельности, маневренности и живучести орудия;

— конструкция лафета должна обеспечивать возможность большой огневой маневренности орудия (большие секторы обстрела в горизонтальной и вертикальной плоскостях).

Прочность лафета орудия при выстреле обеспечивается рациональностью конструкций его отдельных элементов, подбором соответствующего по прочности материала для изготовления деталей лафета.

Устойчивость лафета орудия при стрельбе достигается как конструктивными мерами (увеличение массы, длины отката, применение дульных тормозов, уменьшение высоты линии огня, плеча динамической пары), так и эксплуатационными (ведение стрельбы на уменьшенных зарядах, правильная установка орудия на огневой позиции и т. п.).

Для увеличения огневой маневренности созданы лафеты с двумя, тремя и четырьмя станинами, что позволяет увеличить сектор горизонтального обстрела.

К лафету как средству транспортировки орудия предъявляются следующие основные требования:

— высокая проходимость по дорогам всех типов, по мостам, по неровной местности, вброд;

— живучесть, т. е. способность выдерживать продолжительные переходы с различными скоростями передвижения без понижения боевых свойств орудия;

— быстрота перевода из походного положения в боевое и обратно с применением при этом небольших усилий.

Высокая проходимость достигается за счет:

— уменьшения удельного давления колесного хода на грунт при движении в различных условиях;

— повышения устойчивости орудия на походе;

— совпадения ширины колес лафета и средств тяги;

— улучшения характеристик орудия по преодолению препятствий (клиренса, радиусов поперечной и продольной проходимости и др.).

Сила тяги $P_т$, необходимая для передвижения орудия при установившемся движении, определяется по формуле

$$P_т = Q'_п (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha), \qquad (15.1)$$

где $Q'_п$ — сила тяжести орудия в походном положении, действующая на колеса;

α — угол подъема полотна дороги;

f_1 — коэффициент сопротивления перекатыванию орудия; для шоссейных дорог $f_1 = 0{,}015 \div 0{,}02$; для грунтовых дорог $f_1 = 0{,}05 \div 0{,}15$; для вязкого грунта $f_1 = 0{,}4$.

Обычно силу тяги $P_т$ определяют для дороги с $\alpha = 25 \div 30°$. Величина силы тяги зависит от относительной нагрузки на колеса q и удельного давления на грунт $P_у$, которые определяются по формулам:

$$q = \frac{Q'_п}{2bD}; \qquad (15.2)$$

$$P_у = \frac{Q'_п}{2F_к}, \qquad (15.3)$$

где b — ширина шины колес;

D — диаметр колеса;

$F_к$ — площадь отпечатка, оставляемого шиной колеса на горизонтальной площадке.

Допустимое значение $P_у$ находится в интервале $3{,}5 \cdot 10^5$—$5{,}5 \cdot 10^5$ Н/м², а q — в интервале $0{,}55 \cdot 10^5$—$0{,}7 \cdot 10^5$ Н/м².

Устойчивость орудия на походе характеризуется предельным углом крена $\alpha_{пр}$, при котором орудие еще не опрокидывается (рис. 15.1):

$$\alpha_{пр} = \varepsilon \operatorname{arctg}\left(\frac{B + b}{2h}\right), \qquad (15.4)$$

где B — ширина хода;

h — высота центра тяжести орудия;

ε — коэффициент надежности, учитывающий влияние инерционных сил при поворотах орудия; он равен 0,4—0,5.

Для повышения устойчивости необходимо увеличивать ширину хода и шины, а также уменьшать высоту расположения центра тяжести орудия. У орудия угол $\alpha_{доп}$ обычно не менее 30°.

Ширина колеи лафета оценивается коэффициентом K, который равен отношению ширины колеи орудия к ширине колеи тягача. Обычно $K = 0{,}95 \div 1{,}05$.

Для повышения живучести орудия в конструкции лафета предусматривают подрессоривание хода, надежное крепление механизмов наведения по-походному, тщательное фиксирование (например, контргаек, шпилек, чек и т. п.) всех деталей, могущих перемещаться при тряске на марше, надежную постоянно действующую систему смазки.

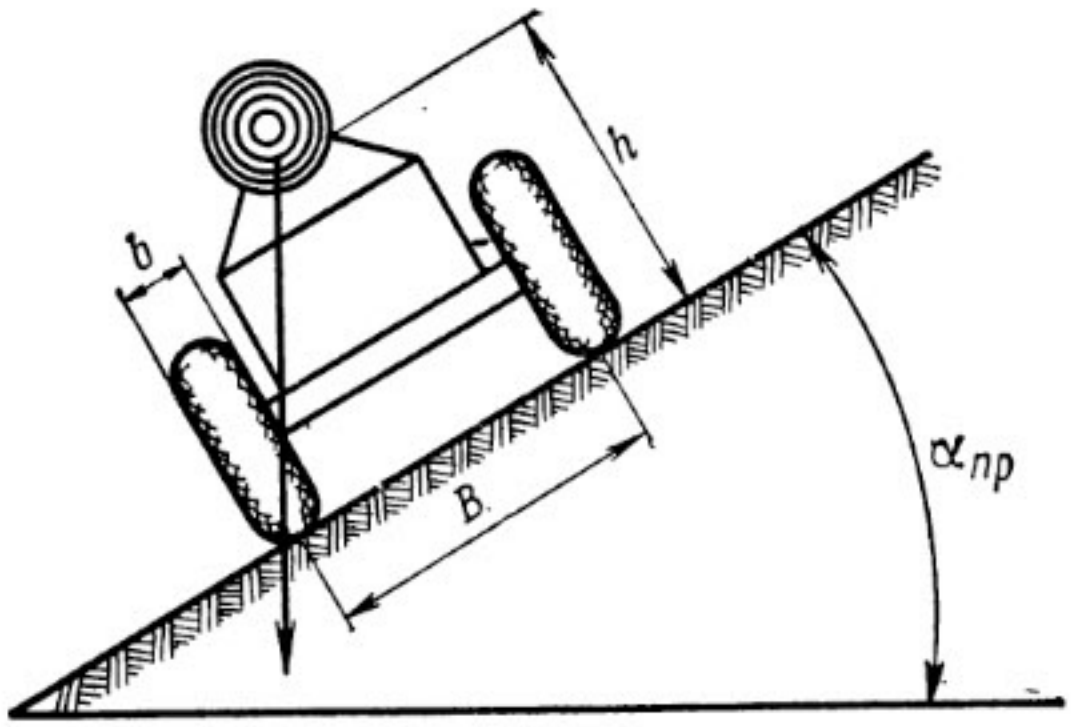


Рис. 15.1. Схема устойчивости орудия

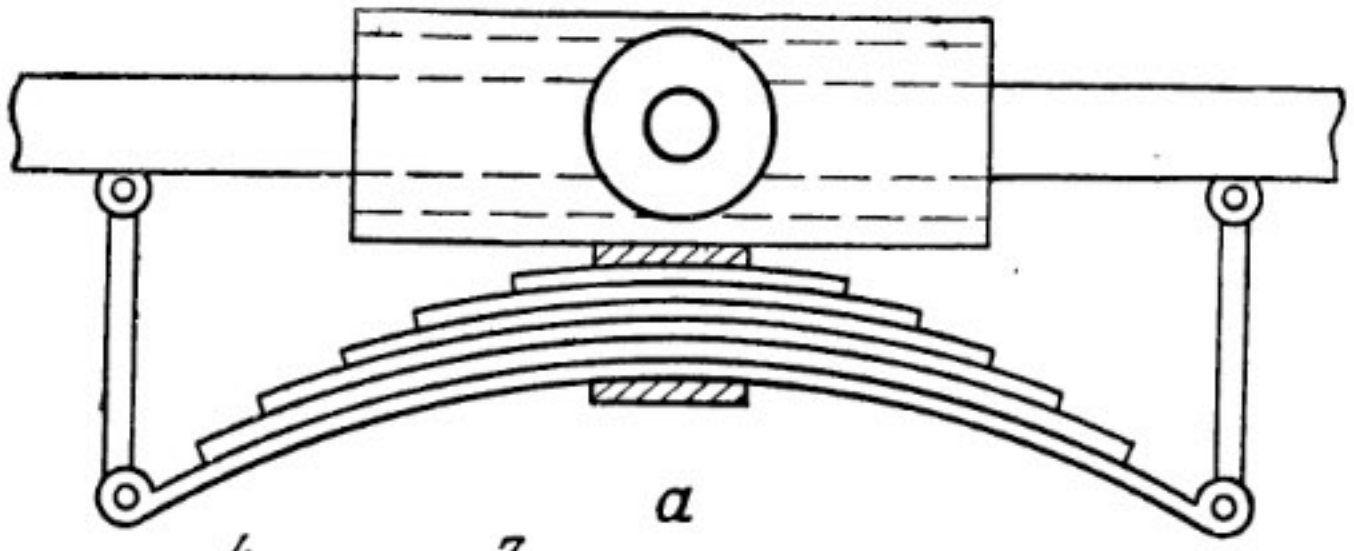
Быстрота перевода из походного положения в боевое и обратно обеспечивается применением при переводе специальных приспособлений и механизмов (лебедок, кранов, домкратов и т. д.).

§ 15.2. ХОД И ПОДРЕССОРИВАНИЕ

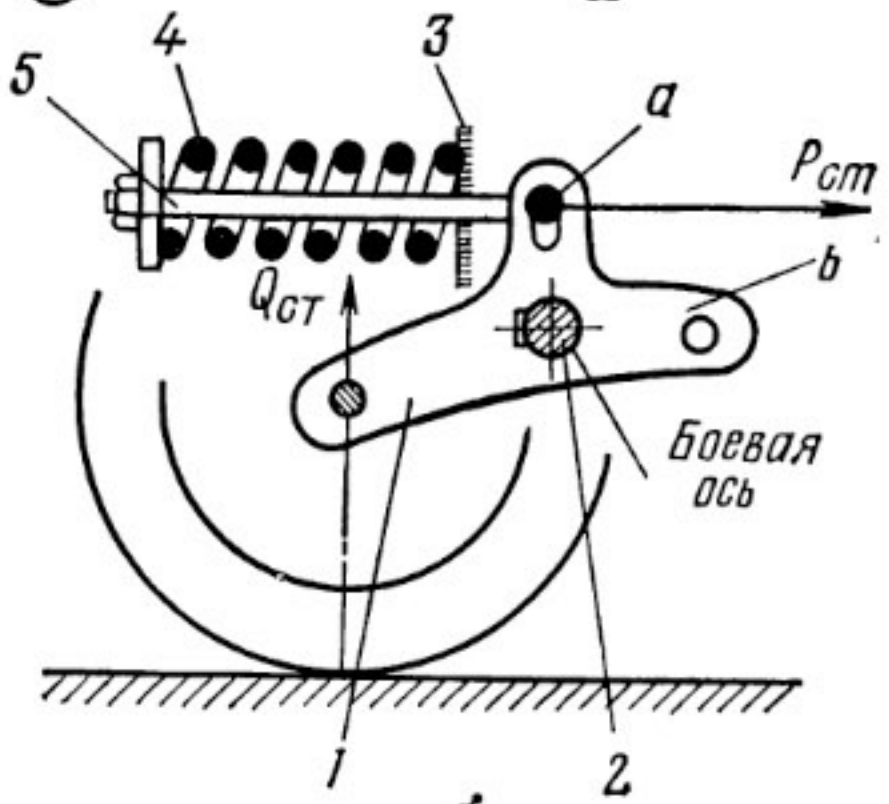
Для предохранения механизмов от вредного действия ударов при транспортировке орудия с большими скоростями (50—70 км/ч) применяют упругое соединение лафета с колесным ходом, которое называют подрессориванием, или подвеской орудия. Для этой же цели применяют металлические колеса с шинами как губчатого наполнения (ГК), так и с воздушными камерами.

При движении подрессоренного орудия по дороге с неровностями удары и толчки, воспринимаемые колесами, передаются на орудие ослабленными, так как энергия удара вначале затрачивается главным образом на деформацию упругих элементов (резиновых шин, рессор, буферов), а затем энергия деформации плавно передается на лафет. При этом орудие совершает колебания, которые не вызывают повреждения механизмов. Интенсивность и характер колебания зависят от неровности дорожного покрытия и качества подрессоривания.

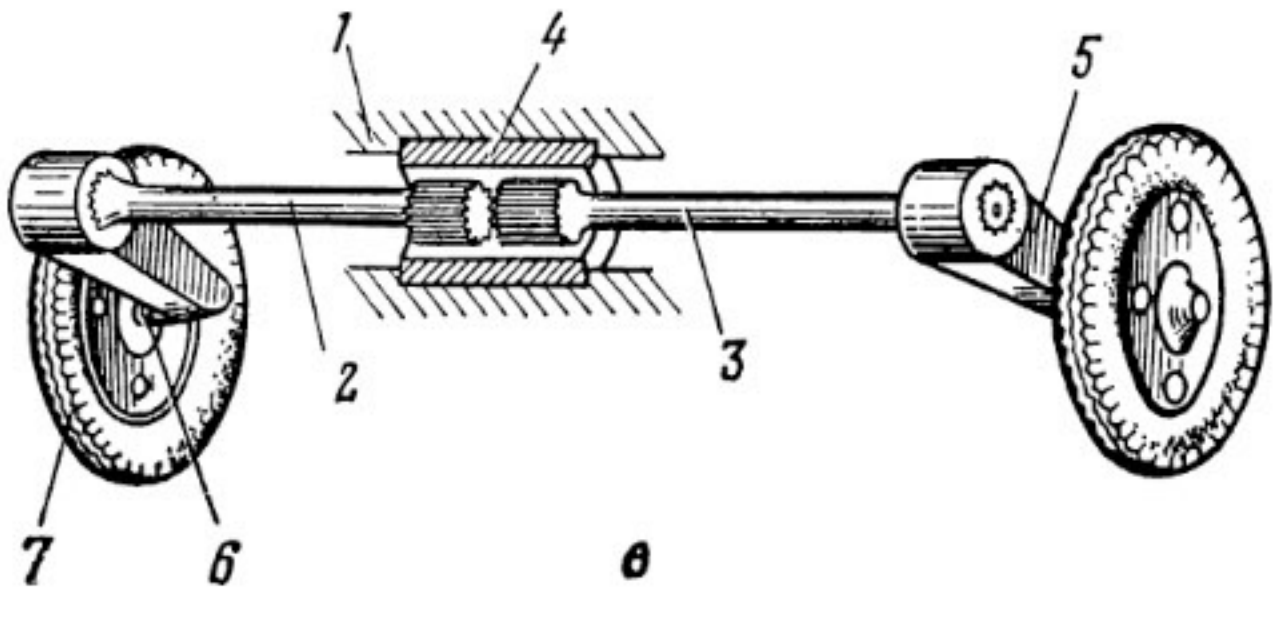
Подрессоривание в орудиях производится пластинчатыми пружинами (листовыми рессорами) (рис. 15.2, *а*), цилиндрическими винтовыми пружинами (рис. 15.2, *б*) и торсионами (рис. 15.2, *в*, *г*).



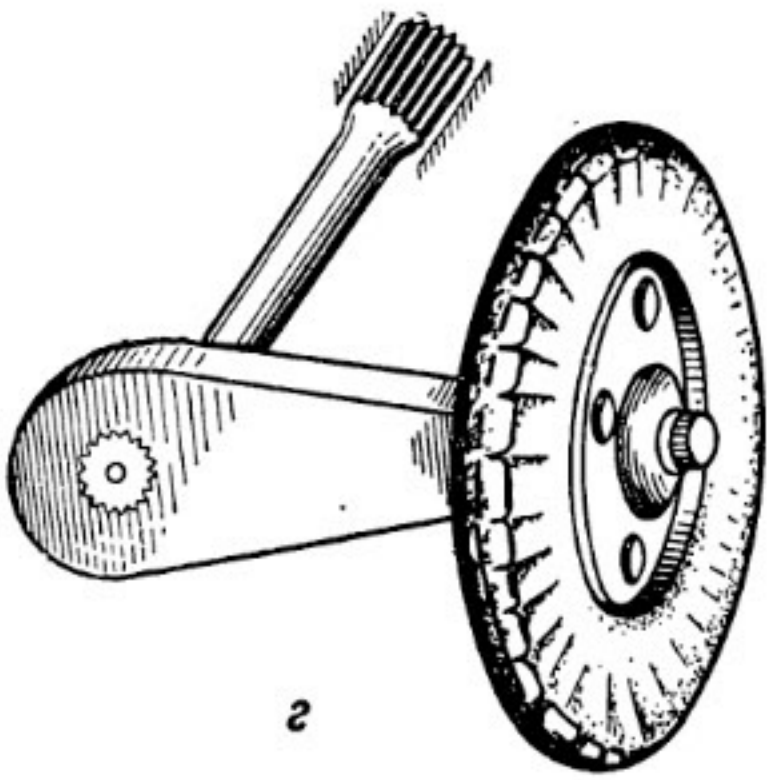
а



б



в



г

Рис. 15.2. Механизмы подрессоривания:

а — схема подрессоривания пластинчатыми пружинами; *б* — схема подрессоривания цилиндрическими винтовыми пружинами: *1* — полуось; *2* — палец; *3* — неподвижная опора; *4* — пружина; *5* — тяга; *в* — кривошипное торсионное подрессоривание: *1* — лобовая коробка; *2* и *3* — торсионы; *4* — вкладыш; *5* — кривошип; *6* — полуось; *7* — колесо; *г* — торсионное подрессоривание с перемещением колес в поперечной плоскости

К механизмам подрессоривания предъявляются следующие основные требования:

— плавность движения орудия;

— автоматичность выключения и включения подрессоривания при переводе орудия из походного положения в боевое и обратно;

— возможность движения орудия при сломанном подрессоривании;

— простота регулировки подрессоривания при осадке упругих элементов;

— надежность.

Плавность движения орудия прежде всего зависит от конструкции подрессоривания и обеспечивается правильным выбором параметров упругих элементов подрессоривания. Для обеспечения плавности движения орудия при торсионном подрессоривании (как наиболее распространенном виде подрессоривания) выбирают такой угол закручивания торсиона, при котором он поглощает энергию удара, воспринимаемого колесом от неровностей дорожного покрытия средней величины. Кроме того, применяют специальные гасители колебаний (гидравлические и пружинные).

Автоматичность выключения (включения) подрессоривания при переводе орудия в боевое (походное) положение сокращает время и облегчает перевод, что способствует более быстрому открытию огня из орудия и готовности его к маршу. Автоматичность выключения подрессоривания достигается за счет введения специального устройства, которое выключает (включает) подрессоривание при разведении (сведении) станин.

Простота регулировки упругих элементов подрессоривания при их осадке необходима для быстрого восстановления характеристик упругих элементов, а также для легкого срабатывания устройства выключения подрессоривания.

Надежность работы подрессоривания зависит от ее относительной работоспособности. Под относительной работоспособностью подрессоривания h_0 понимают отношение запаса потенциальной энергии упругого элемента A к силе тяжести подрессоренных частей орудия $Q'_п$, т. е.

$$h_0 = \frac{A}{Q'_п}.$$

Под запасом потенциальной энергии упругого элемента A понимают энергию, которую необходимо приложить к упругому элементу, чтобы создать в нем напряжение, равное пределу пропорциональности. Чем больше работоспособность h_0, тем лучше качество подрессоривания.

Листовая рессора (рис. 15.2, *а*) состоит из выгнутых по дуге окружности полос прямоугольного сечения, обычно называемых листами, плотно пригнанных друг к другу и зажатых посередине в хомуте. На хомут передается сила тяжести подрессоренной части орудия. Концы нижнего листа, называемого коренным, имеют

ушки, которыми они посредством валиков с сережками соединяются с боевой осью и передают на нее силу тяжести подрессоренной части орудия.

Величина наибольшей допустимой нагрузки на рессору обычно принимается равной

$$P_{max} = mQ'_{п},$$

где m — коэффициент динамичности ($m \simeq 2{,}3 \div 3$);

$Q'_{п}$ — статическая нагрузка, приходящаяся на подрессоривание:

$$Q'_{п} = Q_{п} - Q_{пх} - Q_{ок},$$

где $Q_{п}$ — сила тяжести орудия в походном положении;

$Q_{пх}$ — сила тяжести орудия, приходящаяся на передний ход (давление на крюк тягача);

$Q_{ок}$ — сила тяжести боевой оси и колес.

На рис. 15.2, *б* показана одна из возможных схем подрессоривания с цилиндрической винтовой пружиной. Полуось *1* свободно вращается на пальце *2*, неподвижно закрепленном в кронштейне боевой оси. Плечо *a* полуоси *1* связано с тягой *s*, на которой располагается пружина *4* подрессоривания, сжатая между поршнем тяги и неподвижной опорой *3*. Плечо *b* полуоси имеет гнездо. При выключении подрессоривания в это гнездо входит штырь, жестко скрепляющий полуось с нижним станком лафета.

При наезде на препятствие колесо поднимается, поворачивая полуось *1*, которая своим плечом *a* сжимает пружину *4*. Тем самым энергия удара расходуется главным образом на сжатие пружины *4*.

Сила пружины *4* в состоянии предварительного поджатия определяется из уравнения моментов сил относительно центра пальца *2* по следующей формуле:

$$P_{ст} = \frac{Q'_{п}}{2} \cdot \frac{R}{r} = \frac{Q'_{п}}{2} i,$$

где $\frac{Q'_{п}}{2}$ — нагрузка от силы тяжести орудия, приходящаяся на одно колесо; $\frac{Q'_{п}}{2} = Q_{ст}$;

R и r — длина плеч полуоси;

$i = \frac{R}{r}$ — передаточное отношение.

Наибольшая нагрузка на походе P_{max} определяется из зависимости

$$P_{max} = mP_{ст},$$

где $m = 2 \div 3$ — коэффициент динамичности.

Энергоемкость винтовых пружин больше, чем листовых рессор, поэтому при прочих одинаковых качествах подрессоривание с цилиндрическими винтовыми пружинами получается более легким, чем с листовыми рессорами. Однако винтовые пружины уступают

листовым рессорам в скорости затухания колебаний, так как в винтовых пружинах отсутствуют силы трения между витками.

Наиболее современным видом подрессоривания у артиллерийских орудий является торсионное. Торсионное подрессоривание (рис. 15.2, *в*) состоит из двух торсионов *2* и *3*, которые внутренним концом с помощью шлицев соединяются с вкладышем *4* лобовой коробки *1*, а наружным — с кривошипом *5*, на полуоси *6* которого закреплено колесо *7*.

Так как полуоси *6* смещены относительно осей торсионов *2* и *3*, то на марше при набегании колес на препятствие (неровности дороги) кривошипы *5*, поворачиваясь, заставляют торсионы скручиваться. Благодаря такому упругому соединению ходовых частей с другими частями лафета удар, воспринимаемый колесами, передается на орудие в значительной степени ослабленным. Энергия удара при этом в основном затрачивается на деформацию кручения торсионов.

Ход кривошипов (угол поворота) ограничивают специальными устройствами (резиновыми буферами, лобовой коробкой, специальными рычагами и т. п.), предохраняя тем самым торсионы от чрезмерно большого закручивания, т. е. от поломки. Угол закручивания торсионов при статической нагрузке 7—8°, а при динамической 15—17°. Угол закручивания торсионов определяется по формуле

$$\varphi = \frac{M_{кр} l}{GI},$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент (от статической нагрузки $M_{кр} = Q'_{п} R$, где R — радиус кривошипа);

l — длина торсиона;

G — модуль упругости металла при кручении;

I — полярный момент инерции поперечного сечения торсиона ($I = 0{,}1\ d^4$, где d — диаметр торсиона).

В некоторых орудиях с торсионным подрессориванием применяют приспособления для предварительного закручивания торсионов, упрощая тем самым регулировку высоты станка относительно концов полуосей и установку кривошипа на одинаковом расстоянии от нижнего и верхнего буферов.

Схема приспособления для предварительного закручивания торсионов показана на рис. 15.3. Торсион *1* одним концом связан со ступицей рычага *2*, а другим закреплен в нижнем станке. Рычаг *2* с помощью шарнирного болта *3* и гаек соединен с приливом кривошипа *4* полуоси. Вращением гайки в ту или иную сторону можно изменять угол между рычагом и кривошипом, чем и достигаются предварительное закручивание и регулировка торсиона.

Торсионное подрессоривание по своей конструкции компактно размещается в лафете, несложно в производстве и обладает более высокой прочностью на усталость, чем упругие элементы других типов подрессоривания.

Отрицательной стороной торсионного подрессоривания является малое внутреннее трение в материале упругих элементов, из-за чего затухание колебаний орудия при движении по неровной мест-

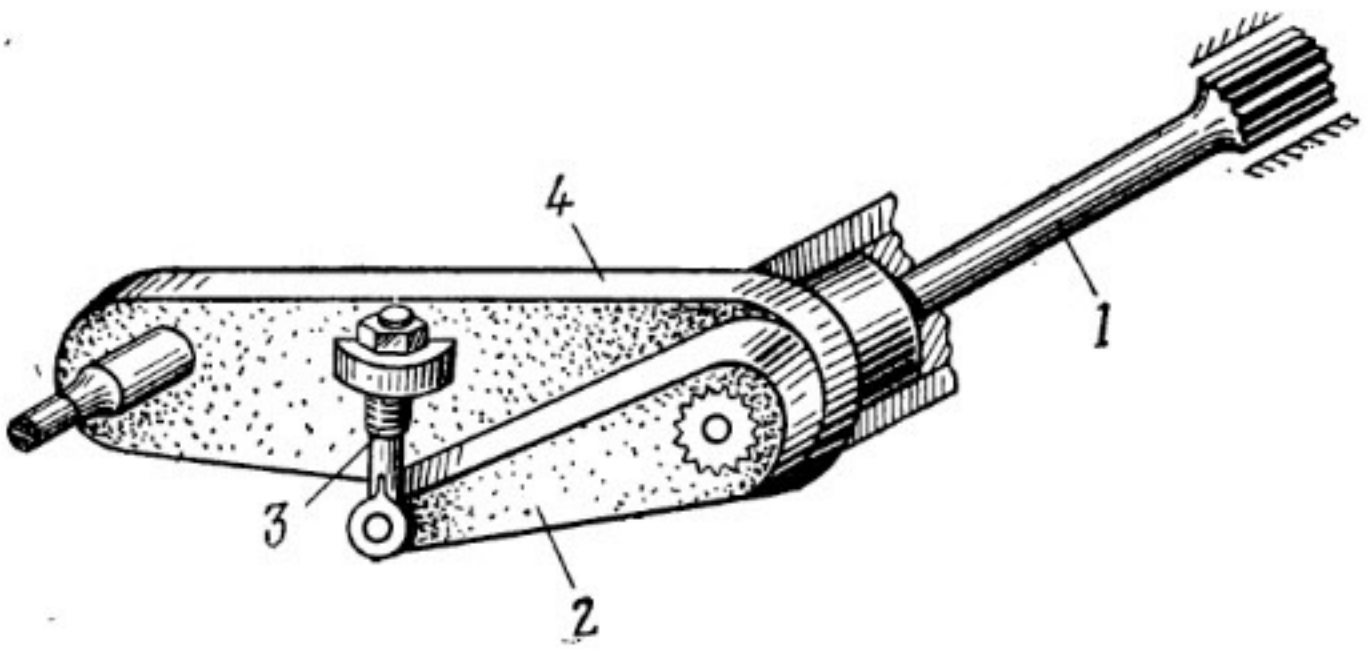


Рис. 15.3. Схема устройства для регулировки торсиона:
1 — торсион; *2* — рычаг; *3* — шарнирный болт; *4* — кривошип

ности происходит значительно медленнее, чем у орудия с листовыми рессорами.

Торсионы изготовляются из высококачественной пружинной стали, термически обработанной. Поверхность торсионов обрабатывается дробеструйными аппаратами для повышения механических характеристик в тех местах, где они испытывают наибольшие напряжения при кручении.

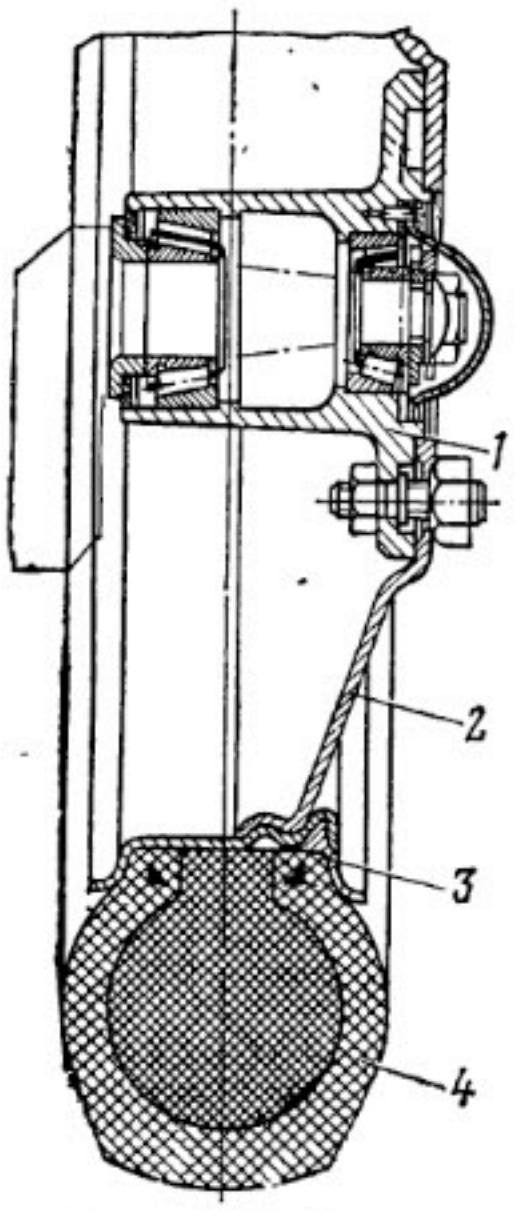


Рис. 15.4. Колесо:
1 — ступица; *2* — диск; *3* — обод; *4* — шина ГК

Для артиллерийских орудий применяются металлические колеса с резиновой шиной губчатого наполнения или с так называемой губчатой камерой (ГК) (рис. 15.4). Основными частями колеса являются ступица *1*, диск *2*, обод *3* и шина ГК *4*.

К артиллерийским колесам предъявляются следующие основные требования:

— прочность при стрельбе и на марше;

— высокая живучесть и надежность;

— способность к частичному подрессориванию;

— простота изготовления и устройства, удобство монтажа и смазки.

Применение шин ГК обеспечивает хорошую амортизацию при движении и сохраняет эксплуатационные свойства в случае их прокола, прострела и прорыва.

При эксплуатации колес с шинами ГК необходимо соблюдать следующие правила:

— не превышать установленные скорости передвижения, так как в противном случае может быть самовозгорание шин и даже разрыв их от действия сильно разогретых газов, находящихся в массе ГК;

— проводить контрольный осмотр колес на марше и, если есть возможность, то нагретые колеса охладить;

— при чистке орудия исключить попадание на шины колес керосина, смазки и других жидкостей, которые разрушающе действуют на резину;

— не допускать загрузки лафета предметами, крепление которых на лафете не предусмотрено руководствами службы, так как в противном случае увеличивается нагрузка на колеса и может превысить допустимую;

— колеса располагать на специальных подкладках при хранении орудий в парках, а при длительном хранении орудий колеса должны быть вывешены путем установки нижнего станка на козелки; при этом в том и другом случае необходимо периодически (один раз в неделю) проворачивать колеса на 90° в целях равномерного распределения смазки в ступице колеса (в подшипнике) и исключения диффузии воздуха из нижних частей массы ГК в верхние, так как последнее может быть причиной появления «пролежней», т. е. потери колесом круглой формы;

— оберегать колеса от воздействия прямых солнечных лучей, с этой целью из подручных средств (фанеры, брезента) делают щиты для покрытия резины колес и, кроме того, производят покраску резины колес краской АКС (алюминиевой пудрой);

— в морозную погоду осторожно скатывать колеса с подкладок или снимать с подставок, не ударять металлическими предметами по резине (при чистке от грязи и т. д.), так как из-за хрупкости резины могут появиться трещины и надрывы, т. е. разрушение протектора колес.

Каждый подвижный лафет оборудуется тормозами, что повышает надежность их эксплуатации. Тормоза необходимы для снижения скорости, остановки орудия, удержания орудия на подъемах и спусках и торможения колес при стрельбе из орудия. В орудиях применяются колодочные тормоза ручного действия или пневматические с управлением от тягача.

§ 15.3. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Вспомогательное оборудование предназначено для уменьшения как времени заряжания, так и времени перевода орудия из походного положения в боевое, а также для улучшения эксплуатации орудия в зимнее время. В качестве вспомогательного оборудования в артиллерийских орудиях применяются лебедки, домкраты, краны, подхоботовые катки, лыжные установки.

Лебедки служат для перевода ствола из походного положения в боевое и устанавливаются на орудиях, у которых ствол с отдельными узлами откатных частей отсоединяется от люльки и оттягивается назад на станины в целях разгружения механизмов наведения от действия инерционных сил при транспортировке орудия.

Домкраты предназначаются для подъема и опускания орудия или станин при переводе орудия из походного положения в боевое

и обратно. В артиллерийских орудиях применяются гидравлические и механические домкраты.

Подхоботовые катки применяются для перекатывания и поворота орудия на домкрате силами расчета.

Лыжные установки предназначаются для транспортировки орудия по снегу. При этом орудие ставится колесами на лыжи, а последние крепятся к колесам. Некоторые конструкции лыжных установок позволяют вести стрельбу из орудия, установленного и закрепленного на них.

К вспомогательному оборудованию предъявляются следующие основные требования:

— простота устройства и эксплуатации;
— малая масса;
— надежность работы.

ГЛАВА 16

ПРИЦЕЛЫ

§ 16.1. ТИПЫ ПРИЦЕЛОВ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Для поражения цели перед выстрелом стволу артиллерийского орудия необходимо придать такое положение в пространстве, при котором средняя траектория снарядов при стрельбе проходила бы через цель.

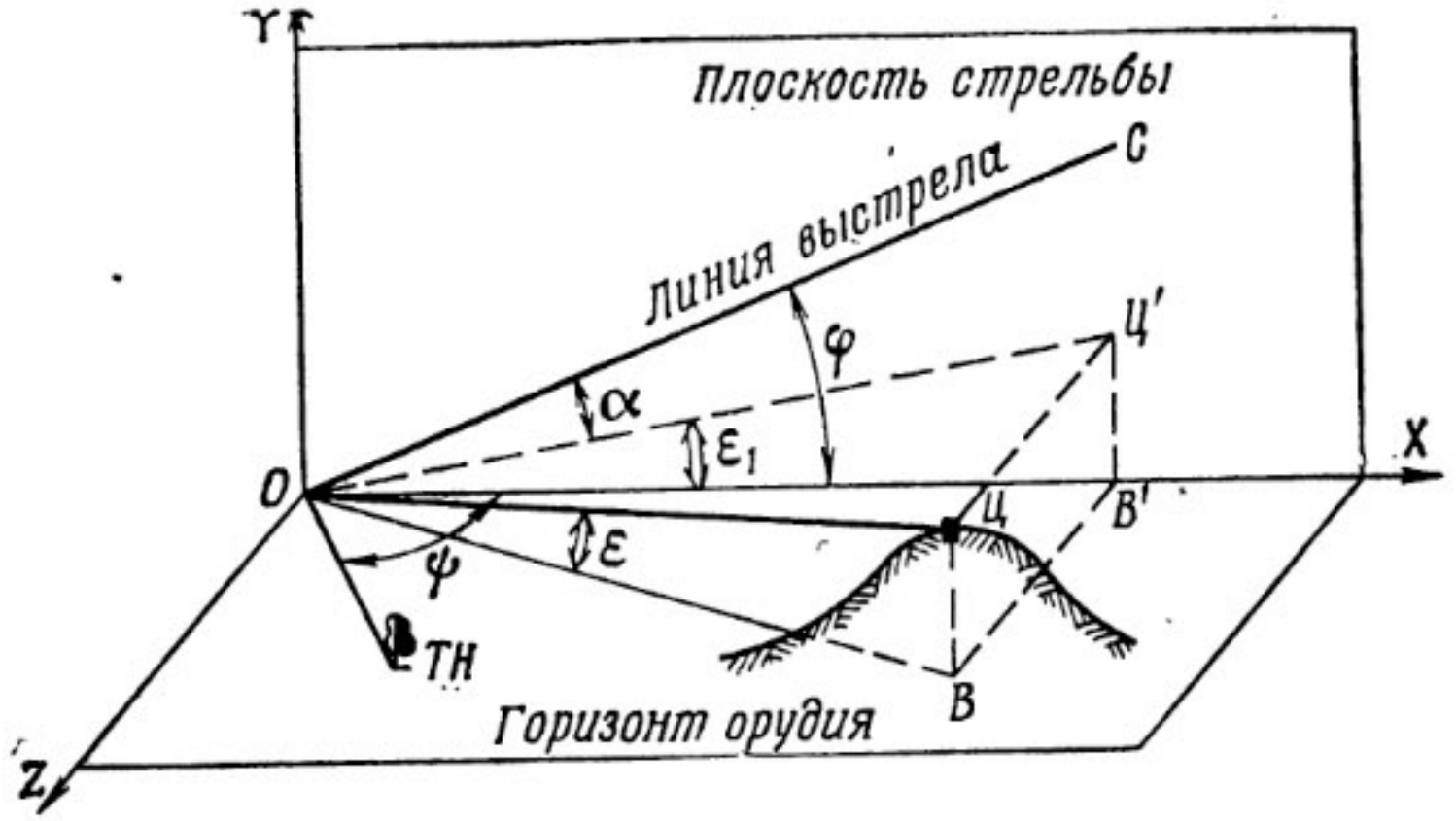


Рис. 16.1. Схема наводки орудия в цель

Положение ствола артиллерийского орудия относительно цели определяется углами в вертикальной и горизонтальной плоскостях: угол в вертикальной плоскости (угол возвышения φ) определяет дальность полета снаряда; угол в горизонтальной плоскости (угол наводки ϕ) определяет направление полета снаряда (рис. 16.1).

Направление оси канала ствола наведенного орудия *OC* называется линией выстрела. Вертикальная плоскость, проходящая через линию выстрела, называется плоскостью стрельбы. Углом возвышения φ называется угол, образованный горизонтом орудия и линией выстрела; углом наводки ϕ — угол на местности между плоскостью стрельбы и направлением на точку наводки (тн).

Углом прицеливания α называется угол между линией выстрела OC и проекцией линии цели на плоскости стрельбы $OЦ'$; углом места цели ε — угол между горизонтом орудия и линией цели $OЦ$.

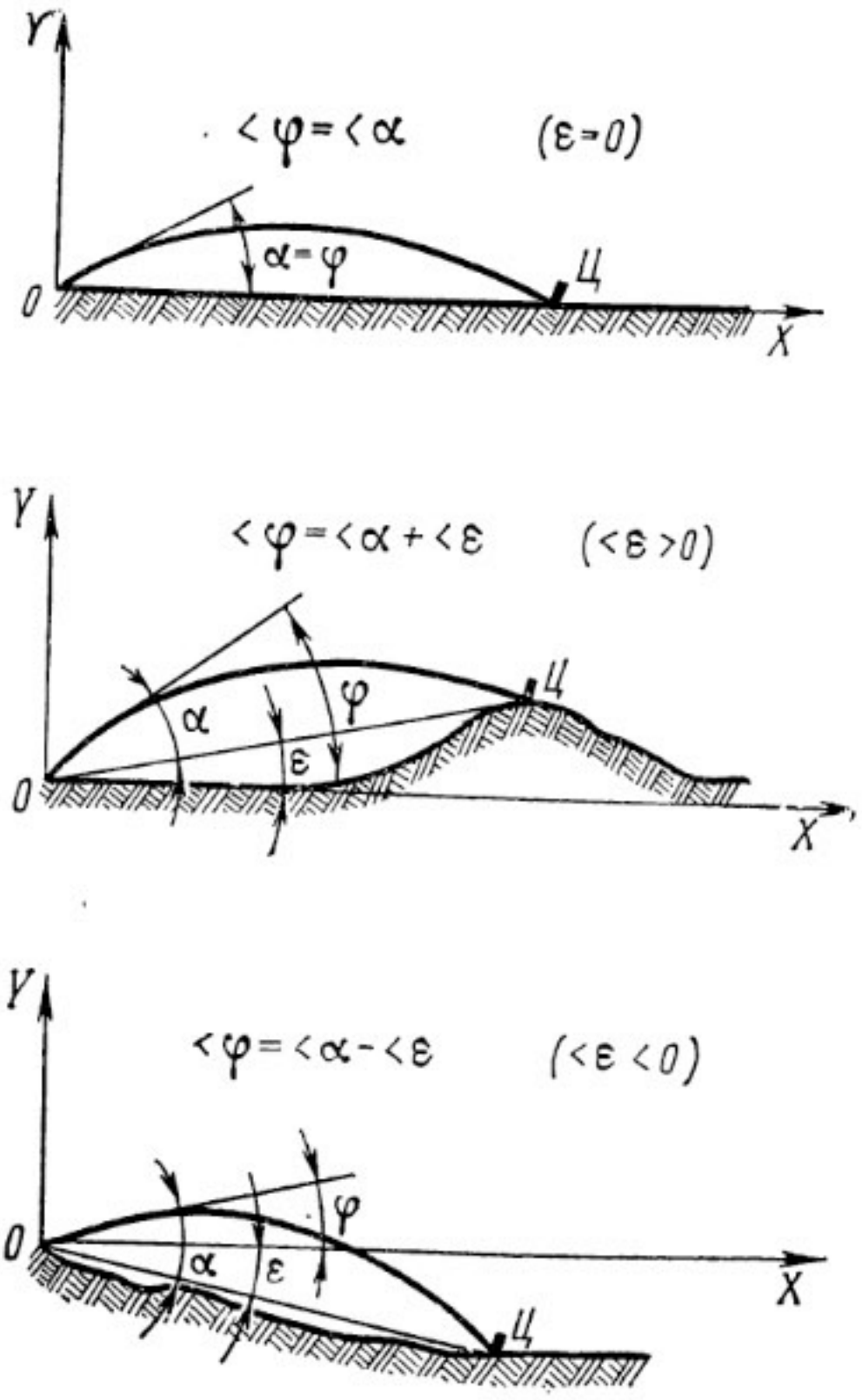


Рис. 16.2. Прицельные углы в плоскости стрельбы

Под горизонтом орудия понимается горизонтальная плоскость, проходящая через точку вылета снаряда.

Угол возвышения φ равен сумме угла прицеливания α и проекции угла места цели на плоскость стрельбы ε_1. Так как проекция угла места цели ε_1 мало отличается от самого угла ε, то на практике принимают угол возвышения φ равным алгебраической сумме углов прицеливания α и места цели (рис. 16.2), т. е.

$$\varphi = \alpha \pm \varepsilon. \quad (16.1)$$

Углы, которые необходимо придать стволу орудия для выполнения вертикальной и горизонтальной наводок, называются прицельными углами.

Приборы (механизмы), предназначенные для установки прицельных углов и наведения ствола с помощью механизмов наведения орудия в требуемое положение относительно цели, называются прицелами.

У механических прицелов для установки углов прицеливания предусмотрен специальный механизм — механизм углов прицеливания, для установки углов места цели — механизм углов места цели, для наведения орудия в горизонтальной плоскости — визирное устройство.

Прицелы входят в состав прицельных устройств.

Под прицельными устройствами понимается совокупность прицелов (механического, оптического, электронно-оптического), переходных деталей крепления прицела на орудии, прибора освещения, корректора, удлинителя, укладочных ящиков и ЗИП. Прицельные устройства наряду с установкой прицельных углов предназначены для ориентирования орудия в основное направление,

наведения орудия в цель, отмечания наведенного в цель орудия, контроля наведения, определения наименьших прицелов.

В состав прицельных устройств могут входить все указанные выше элементы или только часть их.

Совокупность всех действий на прицельных устройствах и механизмах наведения по приданию стволу орудия требуемого положения в пространстве относительно цели называется наводкой.

Наводка орудия делится на горизонтальную и вертикальную. Горизонтальная наводка состоит в придании стволу орудия определенного направления в горизонтальной плоскости, вертикальная — в вертикальной плоскости стрельбы.

В зависимости от характера цели и условий стрельбы наводка по способу ее выполнения подразделяется на прямую, непрямую и полупрямую.

Наводка называется прямой, если вертикальная и горизонтальная наводки ствола выполняются непосредственным визированием по цели, при этом угол прицеливания устанавливается на прицеле, а угол места цели и угол горизонтальной наводки учитываются при непосредственном визировании по цели. Данная наводка используется при стрельбе с открытых позиций по видимой цели.

Наводка называется непрямой, если горизонтальная наводка ствола выполняется с помощью вспомогательной точки на местности (точки наводки) или коллиматора, а вертикальная — с помощью бокового уровня. Применяется при стрельбе по невидимой с огневой позиции цели.

Наводка называется полупрямой, если горизонтальная наводка ствола выполняется непосредственным визированием по цели, а вертикальная — с помощью бокового уровня, как и при непрямой наводке; при этом угол прицеливания и угол места цели устанавливаются на прицеле.

Применяется при стрельбе по видимым с огневой позиции целям на дальности, превышающие дальность прямого выстрела.

Прицелы классифицируются по следующим признакам:

1. По видам артиллерии, для которых прицелы предназначены:

— прицелы наземной артиллерии;
— зенитные;
— танковые;
— береговой артиллерии;
— корабельной артиллерии;
— авиационные.

В свою очередь прицелы наземной артиллерии подразделяются:

— на орудийные;
— на минометные;
— для самоходных орудий;
— для реактивной артиллерии;

— для казематных орудий;
— для безоткатных орудий.

2. По виду наводки:
— прицелы для прямой наводки;
— прицелы для непрямой наводки;
— прицелы для смешанной наводки (прямой, полупрямой, непрямой).

3. В зависимости от типа основного визирного устройства:
— оптические (панорамные, телескопические, коллиматорные);
— электронно-оптические (ночные прицелы);
— механические.

В оптических прицелах все или некоторые прицельные углы строятся с помощью шкал в поле зрения оптических визиров или перемещением деталей оптической системы визира.

Электронно-оптические прицелы отличаются от оптических наличием специального электронно-оптического преобразователя, обеспечивающего возможность видения и стрельбы в ночных условиях.

В механических прицелах прицельные углы в вертикальной плоскости строятся перемещением деталей, не входящих в оптическую систему визира.

4. По конструктивной связи прицела с орудием:
— прицелы, зависимые от орудия;
— прицелы, независимые от орудия.

Прицел называется з а в и с и м ы м от орудия, если при работе подъемным механизмом орудия он перемещается вместе с качающейся частью орудия как одно целое.

Прицел называется н е з а в и с и м ы м от орудия, если при работе подъемным механизмом орудия он остается неподвижным.

5. По степени зависимости линии прицеливания от работы механизмов прицела и механизмов наведения орудия:
— прицелы с зависимой линией прицеливания (направление линии прицеливания их меняется с изменением угла прицеливания и угла места цели);
— прицелы с независимой линией прицеливания (направление линии прицеливания их не меняется с изменением угла прицеливания и угла места цели);
— прицелы с полунезависимой линией прицеливания (направление линии прицеливания их не изменяется с изменением угла прицеливания и изменяется с изменением угла места цели).

Линия прицеливания — это линия визирования при построенных в прицеле прицельных углах.

6. В зависимости от возможности горизонтировать прицел без изменения положения орудия (при наклоне оси цапф люльки):
— качающиеся прицелы;
— некачающиеся прицелы.

Прицелы, которые можно перемещать вокруг оси, параллельной оси канала ствола, с помощью специального механизма поперечного качания, называются качающимися.

7. В зависимости от расположения относительно качающейся части орудия:

— неразнесенные прицелы;

— разнесенные прицелы.

Прицелы, все механизмы которых расположены по одну сторону относительно качающейся части орудия, называются неразнесенными.

Прицелы, механизмы которых расположены по обе стороны относительно качающейся части орудия (квадрант с одной стороны, стол с корзинкой панорамы и панорамой с другой стороны), называются разнесенными.

8. По степени автоматизации построения прицельных углов:

— автоматические прицелы;

— неавтоматические прицелы.

В автоматических прицелах прицельные углы вырабатываются автоматически в процессе визирования по цели. В неавтоматических прицелах прицельные углы устанавливаются вручную.

К прицелам предъявляются следующие требования:

— соответствие прицела назначению орудия (пушки, гаубицы, миномета, боевой машины РА) и основному виду наводки;

— высокая точность прицела;

— простота конструкции прицела и обращения с ним;

— быстрота перевода прицела в боевое положение;

— удобство работы при наведении орудия;

— несбиваемость установок при выстреле;

— простота и удобство выполнения проверок и регулировок прицелов;

— универсальность прицелов.

Соответствие прицелов назначению орудия и основному виду наводки. Существуют различные типы орудий: пушки, гаубицы, минометы, безоткатные орудия, комбинированные орудия и т. п., назначение и виды наводки которых в значительной степени отличаются. Прицельные устройства (прицелы) по своей конструкции и месту крепления должны обеспечивать выполнение всех огневых задач в соответствии с назначением орудия.

Высокая точность прицела. Принято, что случайные ошибки прицела не должны уменьшать вероятности попадания в цель более чем на 10% по сравнению с идеальным прицелом, который как бы не имеет ошибок. Под случайными ошибками прицела понимаются ошибки, обусловленные неточностью установок входных параметров на шкалах прицела, выведения уровня прицела в горизонтальное положение и совмещения перекрестия визира прицела с точкой наводки. На основании принятого допущения срединная ошибка прицела $E_п$ не должна превышать 0,5 срединного отклонения снарядов $Вд$ ($Вб$):

$$E_п \leqslant 0{,}5Вд\,(Вб).$$

Простота конструкции прицела и обращения с ним. Конструкция прицела должна позволять личному составу за короткое время изучить устройство и основные правила эксплуатации, обеспечить быстроту изготовления прицела на предприятиях промышленности и его ремонт в войсках.

Быстрота перевода прицела в боевое положение. Перевод прицела в боевое положение не должен мешать выполнению других операций и увеличивать время перевода орудия в боевое положение.

Удобство работы при наведении орудия. Конструкция и расположение прицела на орудии должны обеспечивать удобство размещения наводчика (наводчиков) относительно механизмов прицела и механизмов наведения орудия. Наводчик должен иметь возможность внимательно наблюдать за целью, быстро изменять установки прицела, плавно и без задержки наводить орудие, при стрельбе прямой наводкой производить выстрел, не прерывая наблюдение за целью. Прицел не должен мешать заряжанию орудия в процессе наводки или ее исправления. На производство установок по шкалам должно затрачиваться минимальное время. Расположение маховичков механизмов прицела должно исключить возможность сбивания установок одного механизма при установке их на другом. Окуляр визира прицела должен так располагаться относительно маховиков механизмов наведения, чтобы наводчик во время работы занимал свободную позу и не напрягался. При работе наводчика стоя окуляр визира прицела (панорамы и т. п.) должен располагаться на высоте 1300—1400 мм от земли, при работе с колена — 800—1000 мм, при работе лежа — 300 мм.

Маховики механизмов наведения не должны мешать наблюдению в окуляр визира. Они должны располагаться под прицелом и не выступать значительно вперед или назад относительно окуляра. При работе наводчика стоя маховики механизмов наведения орудия относительно больших размеров (~300 мм) должны располагаться на высоте 850 мм, маховики относительно небольших размеров (до 240 мм) — на высоте 1000 мм от земли. При работе наводчика с колена маховики механизмов наведения должны располагаться на уровне 500—600 мм от земли, при работе лежа — на высоте 150—180 мм. Расположение наводчика должно быть таким, чтобы его лицо при стрельбе было направлено в сторону стрельбы. Такое размещение наводчика облегчает целеуказание при стрельбе прямой (полупрямой) наводкой, поимку цели в поле зрения за минимальное время и ведение стрельбы прямой наводкой. Размещение наводчика лицом к стволу орудия следует принимать в исключительных случаях и лишь при наличии оптического (панорамного) визира.

Несбиваемость установок при выстреле. Выполнение данного требования достигается применением самотормозящихся механизмов прицела и специальных тормозных устройств,

что обеспечивает повышение скорострельности и точности стрельбы.

Простота и удобство выполнения проверок и регулировок прицелов. В процессе эксплуатации прицелов нарушается их заводская регулировка. Поэтому перед каждой стрельбой, в перерывах между длительными стрельбами или во время стрельбы при чрезмерных отклонениях снарядов от цели производятся проверка и регулировка прицельных устройств (прицелов). Проверка и регулировка прицелов производятся также в целях выявления их технического состояния при получении орудия в часть, при передаче орудия из подразделения в подразделение, во время технических осмотров вооружения, после аварии или ремонта прицела. Все это указывает на то, что конструкция прицела должна обеспечивать простоту и удобство выполнения проверок и регулировок личным составом расчетов орудий. При этом будет достигаться сокращение времени на подготовку орудия к стрельбе.

Универсальность прицелов. Создаваемые прицелы должны быть пригодны не для одного орудия, а для целого ряда артиллерийских орудий. Заменяться у них могут только дистанционные прицельные шкалы. При этом значительно удешевляются производство и ремонт таких прицелов, снабжение их запасными частями и упрощается обучение личного состава.

§ 16.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИЦЕЛЫ

В настоящее время на артиллерийских орудиях устанавливаются следующие прицелы:

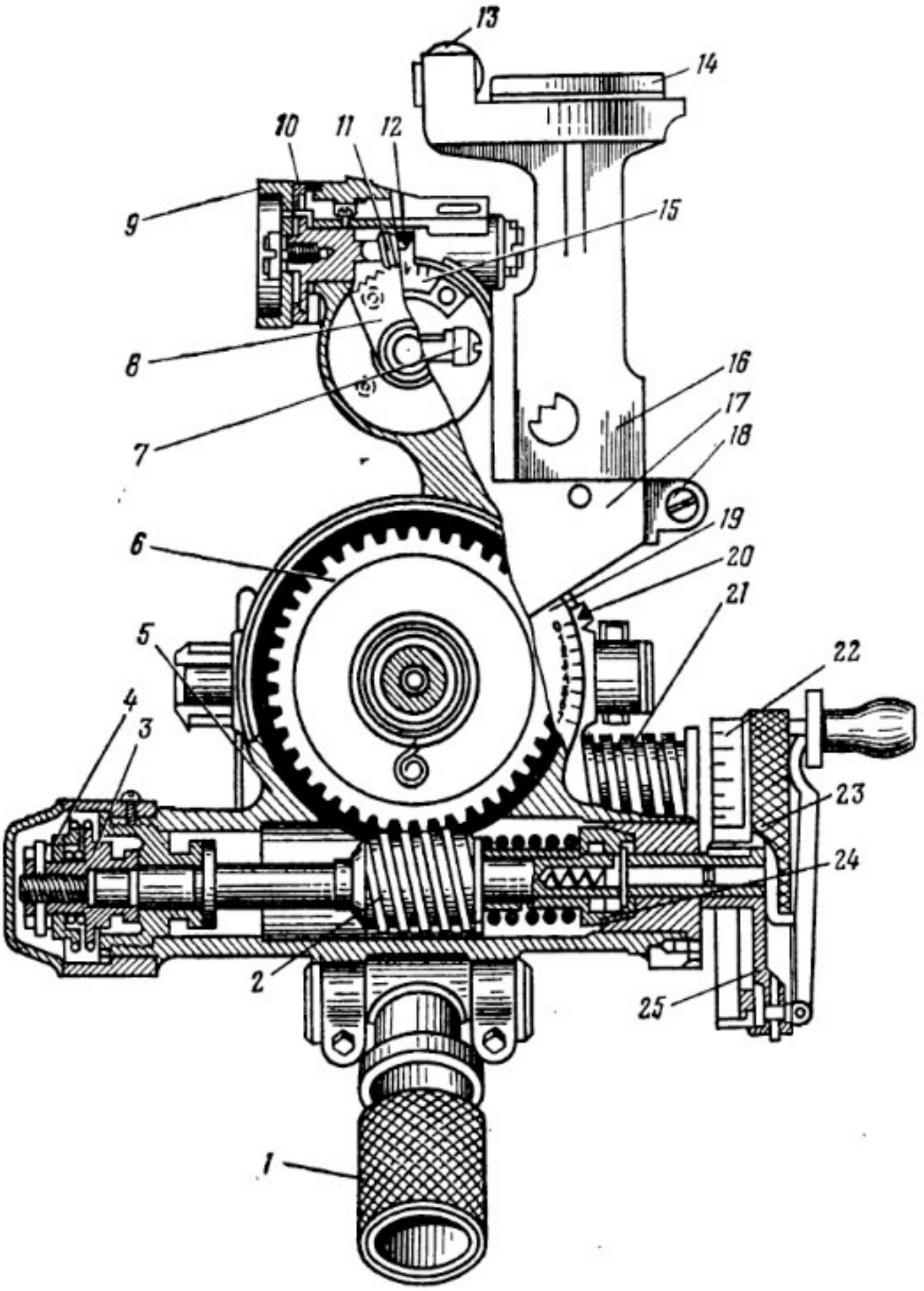
— механический прицел неразнесенного типа, с червячным механизмом углов прицеливания, зависимый от орудия, с зависимой линией прицеливания (С-71, Д-726);

— механический прицел со стрелками, независимый от орудия, с полузависимой или независимой линией прицеливания (М-30Ц);

— механический прицел дугового типа, зависимый от орудия, с зависимой линией прицеливания (нормализованный прицел обр. 1930 г., прицел типа ЗИС-3).

Основные тактико-технические характеристики этих прицелов приведены в табл. 16.1.

Механический прицел С-71 — зависимый от орудия, с зависимой линией прицеливания (рис. 16.3), предназначен для наводки орудия в цель при стрельбе с закрытых огневых позиций. Может быть использован и для стрельбы прямой наводкой. Изготовляется в трех вариантах: С-71 жестко крепится на качающейся части орудия; С-71А крепится на кронштейне верхнего станка орудия и связан с качающейся частью параллелограммом; Д-726 крепится на орудии аналогично С-71, отличается от С-71 лишь большим диапазоном углов прицеливания.



Механизм поперечного качания

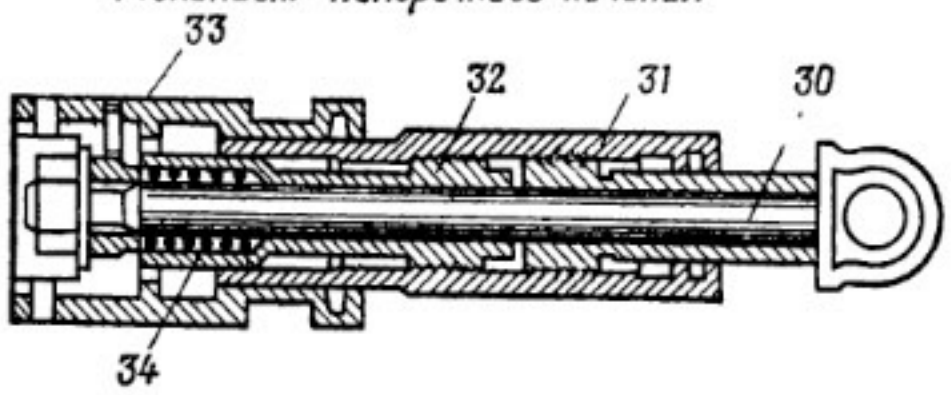
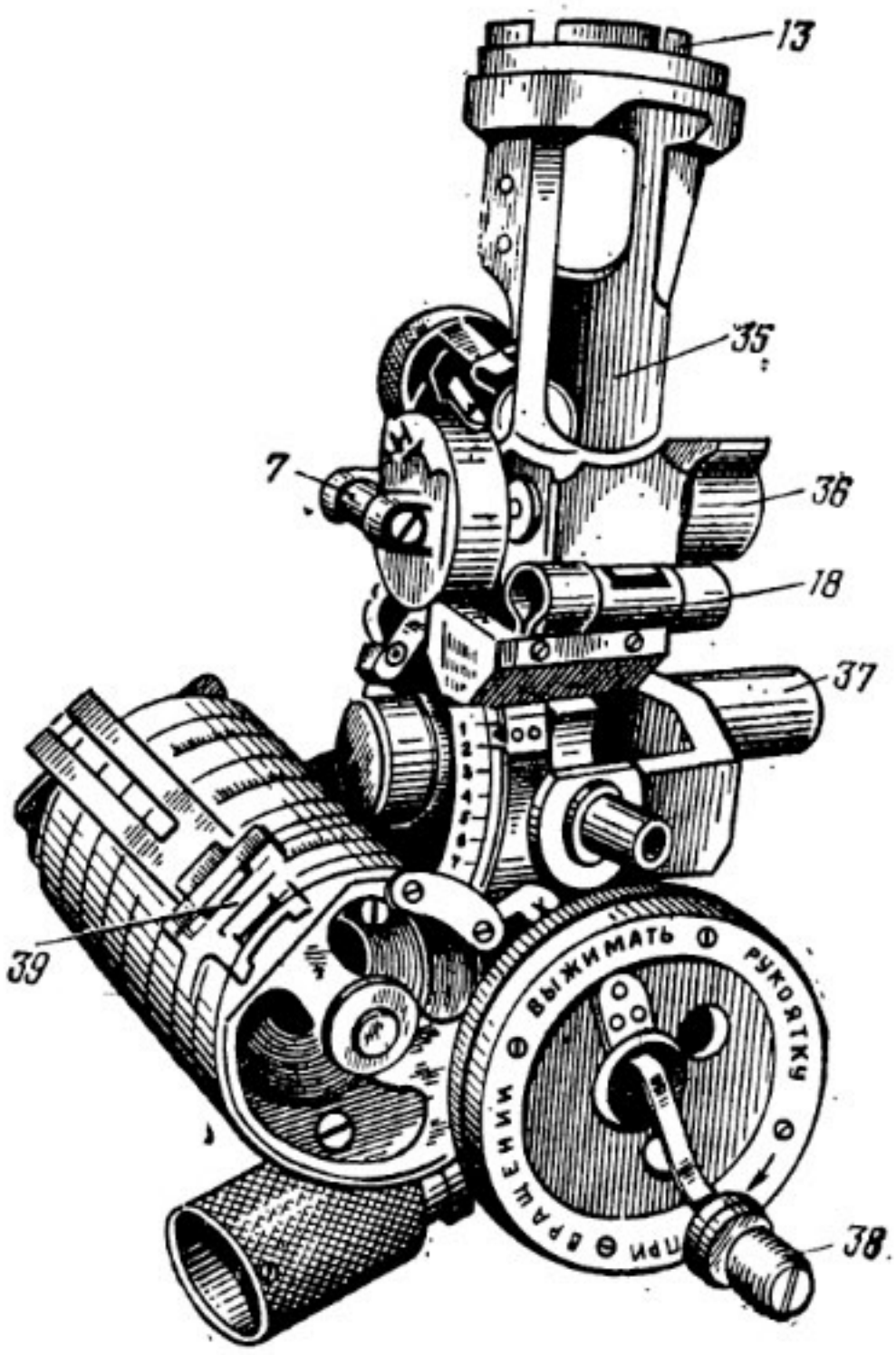
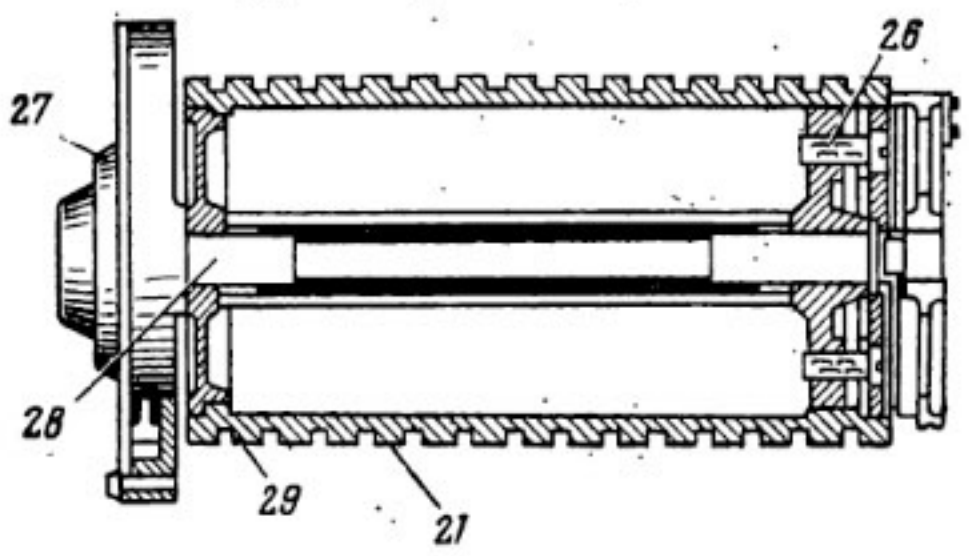


Рис. 16.3. Механический

1 — механизм поперечного качания; *2* — червяк механизма углов прицеливания; *3* и *4* — цилин ное колесо; *7* — продольный уровень; *8* — червячный сектор; *9* — маховик механизма углов механизма углов места цели; *12* — указатель шкалы грубого отсчета механизма углов бого отсчета механизма углов места цели; *16* — корзинка панорамы; *17* — основание кор прицеливания; *20* — указатель; *21* и *29* — дистанционные барабаны; *22* — кольцо со шкалой ния; *24* — тормозное устройство; *26* — основание дистанционного барабана; *27* — крышка; поперечного качания; *34* — пружина; *35* — окно для выхода окуляра; *36* — защелка; *37* — не дистанционного



Дистанционный барабан



прицел С-71:

дрические шестерни (шестерня *4* — разрезная); *5* — коробка (корпус) прицела; *6* — червяч- места цели; *10* — колесо со шкалой тысячных механизма углов места цели; *11* — червяк места цели; *13* — нажимной винт; *14* — опорный конус корзинки панорамы; *15* — шкала грузинки панорамы; *18* — поперечный уровень; *19* — шкала грубого отсчета механизма углов тысячных механизма углов прицеливания; *23* и *25* — маховик механизма углов прицелива- *28* — валик; *30* — валик с ушком; *31* — матка; *32* — разрезной винт; *33* — маховик механизма подвижная вилка; *38* — рукоятка маховика механизма углов прицеливания; *39* — указатель барабана

Таблица 16.1

Характеристики	Индекс прицела			
	С-71 (Д-726)	М-30Ц	ЗИС-3	Нормализованный обр. 1930 г.
Пределы установки углов прицеливания	0—750 тыс. (0—1200 тыс.)	0—1250 тыс.	0—750 тыс.	0—1040 тыс.
Цена деления шкалы точного отсчета механизма углов прицеливания	0,5 тыс.	2 тыс.	2 тыс.	2 тыс.
Пределы установки углов места цели	—200÷+400 тыс.	—250÷+250 тыс.	—200÷+200 тыс.	—100÷+1000 тыс.
Цена деления шкалы точного отсчета механизма углов места цели	1 тыс.	1 тыс.	1 тыс.	1 тыс.
Пределы поперечного качания	±10° (±6°)	—13÷+7°	—11÷+7°	—
Масса прицела	12,2 кг (11,5 кг)	19,8 кг	8,3 кг	—

Прицел состоит из механизма углов прицеливания, механизма углов места цели, механизма поперечного качания и корзинки панорамы. В качестве визирного устройства в прицеле используется орудийная панорама ПГ-1М.

Механизм углов прицеливания предназначен для установки на прицеле углов прицеливания (рис. 16.3). Он состоит из маховика *23* с кольцом *22* шкалы тысячных точного отсчета (цена деления равна 0-00,5), червяка *2* с тормозным устройством *24*, разрезного червячного колеса *6*, основания *17* корзинки панорамы, к которому крепятся червячное колесо и пластинка со шкалой тысячных грубого отсчета углов прицеливания *19* (цена деления 1-00), двух цилиндрических шестерен *3* и *4* (шестерня *4* разрезная), дистанционного барабана *21* с указателем *39* и коробки *5* прицела.

Для установки углов прицеливания необходимо нажатием рукоятки *38* маховика выключить тормозное устройство. Затем, вращая маховик углов прицеливания *23* (рис. 16.4), установить по шкалам тысячных грубого и точного отсчетов или дистанционного барабана заданный угол прицеливания. При вращении маховика вращаются червяк *2* и находящееся с ним в зацеплении червячное колесо *6*. При этом основание с корзинкой *16* панорамы, механизмом углов места цели и продольным уровнем *7* наклоняется в вертикальной плоскости на заданный угол. Одновременно вращение от вала червяка *2* через шестерни *3* и *4* передается дистанционному барабану *21*, который, вращаясь, перемещает указатель *39* (рис. 16.3).

Механизм углов места цели (рис. 16.3) предназначен для установки на прицеле углов места цели. Он состоит из махо-

вика *9* с кольцом шкалы тысячных точного отсчета (цена деления 0-01) *10*, червяка *11*, разрезного червячного сектора *8*, пластинки со шкалой *15* тысячных грубого отсчета (цена деления 1-00), указателя *12* и продольного уровня *7*. Продольный уровень и пластинка со шкалой тысячных грубого отсчета закреплены на разрезном червячном секторе *8*, указатель *12* — на корпусе механизма углов места цели. Продольный уровень имеет ампулу, заполненную незамерзающей жидкостью (спиртом или эфиром), в

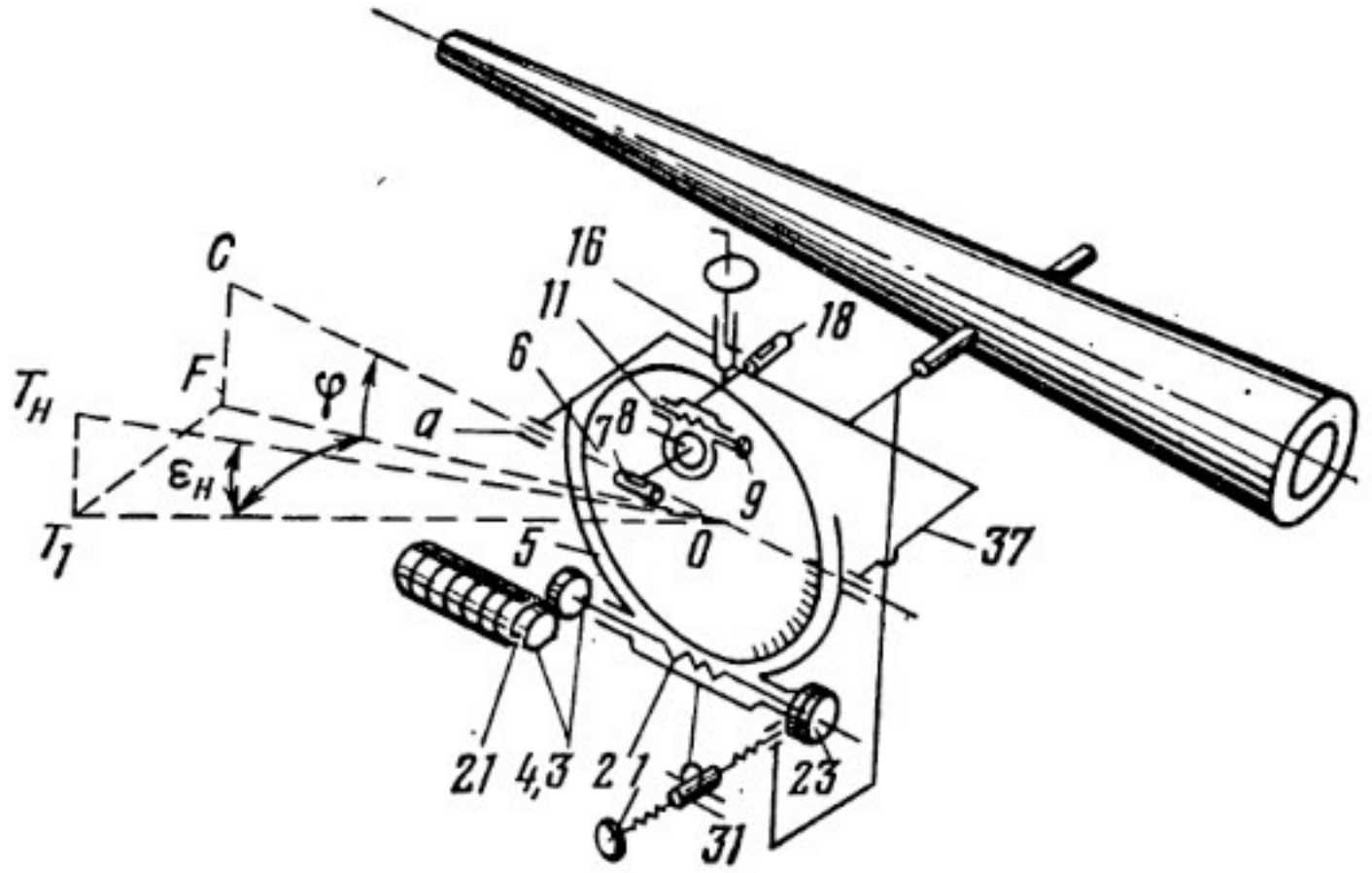


Рис. 16.4. Схема механического прицела С-71:

1 — механизм поперечного качания; *2* — червяк механизма углов прицеливания; *3* и *4* — цилиндрические шестерни; *5* — коробка (корпус) прицела; *6* — червячное колесо; *7* — продольный уровень; *8* — червячный сектор; *9* — маховик механизма углов места цели; *11* — червяк механизма углов места цели; *16* — корзинка панорамы; *18* — поперечный уровень; *21* — дистанционный барабан; *23* — маховик механизма углов прицеливания; *31* — матка механизма поперечного качания; *37* — неподвижная вилка

которой имеется небольшой пузырек воздуха. На корпусе ампулы нанесены через 2 мм установочные риски (цена деления 0-01). При горизонтальном положении ампулы уровня пузырек воздуха должен находиться между средними рисками. Установка углов места цели (рис. 16.4) производится по шкалам тысячных грубого и точного отсчетов путем вращения маховика *9* углов места цели. При этом вращаются червяк *11* и входящий с ним в зацепление червячный сектор *8*. Ось продольного уровня *7* получает наклон, равный заданному углу места цели.

Механизм поперечного качания *1* предназначен для установки прицела в вертикальное положение и выбора ошибок горизонтального наведения из-за наклона оси цапф орудия. Он состоит из маховика *33*, разрезного винта *32* (рис. 16.3), валика *30* с ушком, матки *31*, пружины *34* и поперечного уровня *18*.

Матка с помощью цапф соединена с коробкой *5* прицела, валик с ушком шарнирно соединен с неподвижной вилкой *37*, на которой также шарнирно закреплена коробка *5* прицела. Таким образом, механизм поперечного качания представляет собой жесткий тре-

угольник, одна сторона которого образуется вилкой *37*, другая — коробкой *5* прицела, а третью сторону переменной длины создают матка *31* и разрезной винт *32*. Маховик *33* соединен с разрезным винтом *32* неподвижно.

Установка прицела в вертикальное положение при наклоне оси цапф орудия производится вращением маховика механизма *1* поперечного качания (рис. 16.4). При вращении разрезного винта матка *31* навинчивается на разрезной винт или свинчивается с него, совершая поступательное перемещение и увеличивая или уменьшая переменную сторону условного треугольника. При этом коробка *5* прицела с поперечным уровнем *18* вращается относительно неподвижной вилки *37*. Вращение маховика производится до тех пор, пока пузырек поперечного уровня *18* не выйдет на середину. Устройство поперечного уровня аналогично устройству продольного уровня.

Корзинка *16* (рис. 16.3) панорамы служит для крепления панорамы. Она соединена с основанием *17*, имеет опорный конус *14* для установки панорамы, окно *35* для выхода окуляра, нажимной винт *13*, защелку *36*, удерживающую панораму от выпадания.

При установке панорамы в корзинку необходимо рукоятку защелки *36* повернуть до упора по движению часовой стрелки, затем установить панораму на конус *14* и отпустить защелку *36*. Вращая нажимной винт *13*, зафиксировать постоянное положение панорамы в корзинке. При этом исключается сбивание панорамы при стрельбе.

Панорама ПГ-1М является визирным устройством для всех современных механических прицелов наземной и реактивной артиллерии. Служит для точной наводки орудия в цель в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Имеет следующие оптические характеристики:

Увеличение	3,7×
Поле зрения	10°25′
Диаметр выходного зрачка	4 мм
Удаление выходного зрачка от последней поверхности глазной линзы окуляра	20 мм
Перископичность	183 мм

Панорама ПГ-1М (рис. 16.5) представляет собой коленчатую оптическую трубу. Состоит из поворотной части *А*, неподвижного корпуса *Г*, окуляра *Е*, крюка *Д*, механизма отражателя *К*, визирного приспособления *И*, механизма угломера *З* с тормозом *В* и отводкой червяка угломера *Б*, оптической системы.

Головка панорамы с помощью механизма угломера может поворачиваться в горизонтальной плоскости на 360°. На ней закреплены механизмы отражателя *К*, коробка визира *И*, угломерное кольцо *6* и часть оптической системы.

Неподвижный корпус *Г* представляет собой трубу, состоящую из двух частей — верхней (корпуса угломера) и нижней (призмен-

ной). Служит для размещения механизма угломера и призменной части оптической системы.

Снизу корпуса угломера имеется конический желоб *Ж*, в который при установке панорамы входит опорный конус корзинки панорамы, а спереди — выступ, в который упирается нажимной винт корзинки панорамы.

Окуляр служит для размещения линз окуляра оптической системы. На нем крепится наглазник с трубой. В окулярной трубке имеется окно для освещения сетки оптической системы в ночное время.

Крюк *Д* служит для соединения панорамы с защелкой корзинки панорамы.

Механизм отражателя служит для наведения линии визирования панорамы в вертикальной плоскости. Состоит из маховика *11* с кольцом *24* отражателя со шкалой точного отсчета в тысячных (цена деления одна тысячная), червяка *12*, червячного сектора *13*, обоймы *9* для крепления призмы-отражателя (АР-90°). Червячный сектор *13* неподвижно скреплен с обоймой *9*. На левой наружной стенке обоймы нанесена шкала *23* отражателя грубого отсчета (по три точки вверх и вниз от средней риски); каждое деление соответствует ста тысячным.

При вращении маховика *11* отражателя вращается червяк *12*, передающий вращение червячному сектору *13* и обойме *9* с призмой АР-90° (рис. 16.6). При этом линия визирования панорамы отклоняется вверх или вниз на 18° (3-00) относительно горизонтального положения. Таким образом, наличие механизма отражателя обеспечивает увеличение обзора панорамы при непрямой наводке.

Визирное приспособление *И* (рис. 16.5) предназначено для грубого направления панорамы в точку наводки, а также для горизонтальной наводки орудия в случае неисправности оптической части панорамы. Оно состоит из прямоугольной полой коробки, на передней части которой натянуты две проволочные нити, образующие предметный визир; в задней стенке имеется вертикальная щель шириной 0,5 мм.

Механизм угломера *З* служит для измерения углов в горизонтальной плоскости. Состоит из маховика (рис. 16.5) с кольцом *25*, на котором нанесена шкала угломера точного отсчета, червяка *17*, червячного колеса *16* с верхней конической шестерней *5*, закрепленной на червячном колесе; промежуточной конической шестерни *4*, закрепленной на оси, соединенной с направляющим цилиндром *3*, неподвижной конической шестерни *18*, закрепленной на корпусе панорамы, конусного тормоза *В* и отводки *Б* червяка угломера, шкалы *6* угломера грубого отсчета.

Шкала угломера точного отсчета *25* имеет сто делений, цена одного деления 0-01. Каждые десять делений обозначены цифрами от 0 до 90. Шкала *6* угломера грубого отсчета имеет 60 делений, четные деления шкалы обозначены цифрами от 0 до 58. Указатели шкал угломера грубого и точного отсчетов нанесены на неподвиж-

ном корпусе панорамы. К червячному колесу прикреплена головка панорамы с угломерным кольцом грубого отсчета *6*. В направляющем цилиндре *3*, на котором закреплена промежуточная коническая шестерня *4*, установлена призма АР-0°. Три конические шестерни (верхняя *5*, промежуточная *4* и нижняя *18*) образуют вращающее устройство призмы АР-0°.

Тормоз *В* червяка исключает сбиваемость установок угломера. Отводка *Б* червяка угломера служит для обеспечения быстрого вращения головки панорамы рукой на любой угол. Состоит из эксцентриковой втулки с рукояткой. При повороте рукоятки вверх до отказа вращается эксцентриковая втулка, при этом червяк угломера выводится из зацепления с червячным колесом. В результате головку панорамы можно быстро и на любой угол повернуть. При вращении маховика угломера (рис. 16.6) вращаются червяк *17* и червячное колесо *16* с укрепленными на нем поворотной головкой панорамы с призмой АР-90° и шестерней *5*. Последняя увлекает за собой промежуточную шестерню *4*, заставляя ее вместе с направляющим цилиндром *3*, обоймой *19* и призмой АР-0° обкатываться по неподвижной шестерне *18*. Происходит одновременное вращение призм АР-90° и АР-0° вокруг вертикальной оси, но с разными угловыми скоростями. Призма АР-0° вращается с угловой скоростью, вдвое меньшей угловой скорости призмы АР-90° (например, при развороте призмы АР-90° на 20° призма АР-0° повернется на 10°). Это объясняется тем, что ось промежуточной шестерни *4* имеет линейную скорость перемещения, в два раза меньшую, чем верхняя шестерня *5*. На рис. 16.6 показана схема действия вращающего устройства призмы АР-0°. На схеме видно, что линейные скорости оси промежуточной конической шестерни V_o в два раза меньше скорости точки *А* V_a, принадлежащей верхней конической шестерне *5*. Следовательно, при вращении головки па-

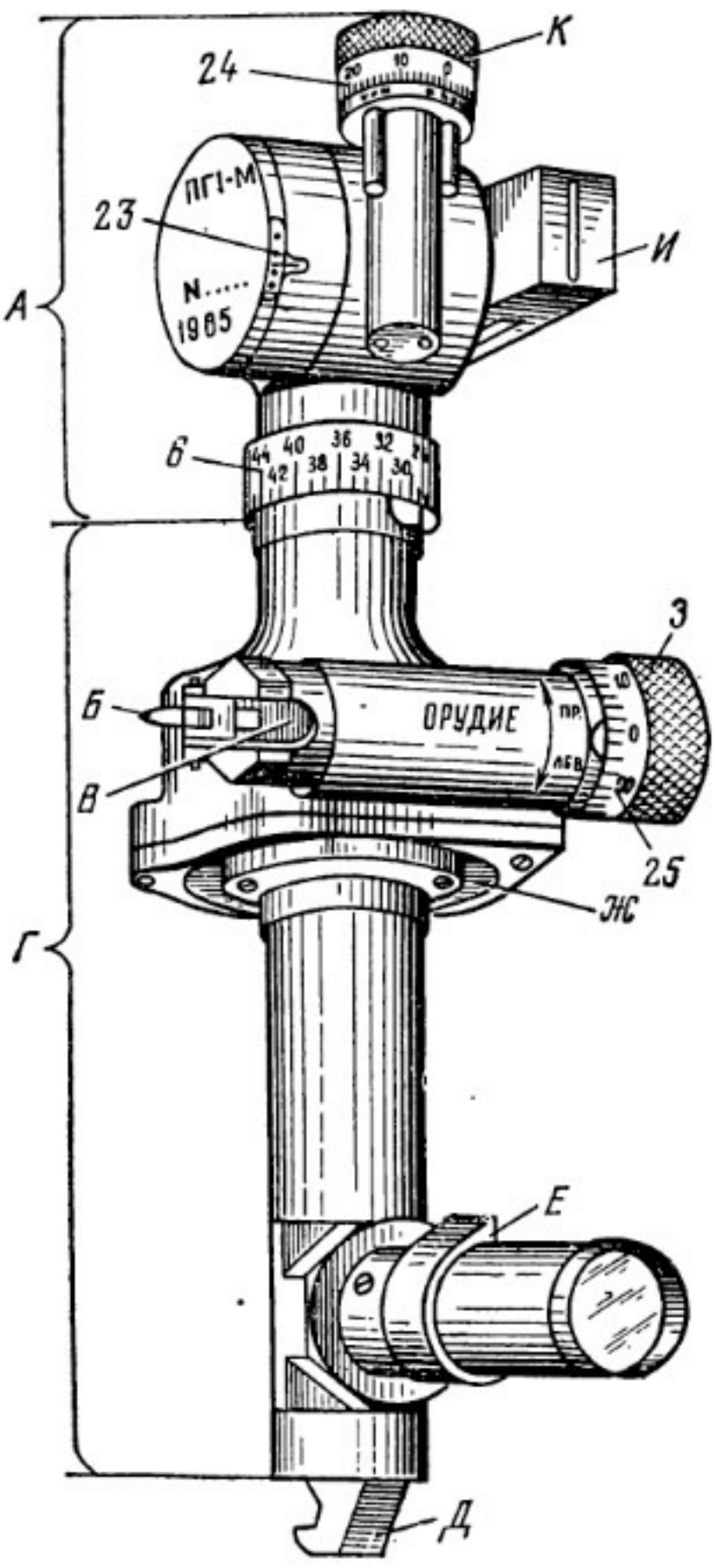
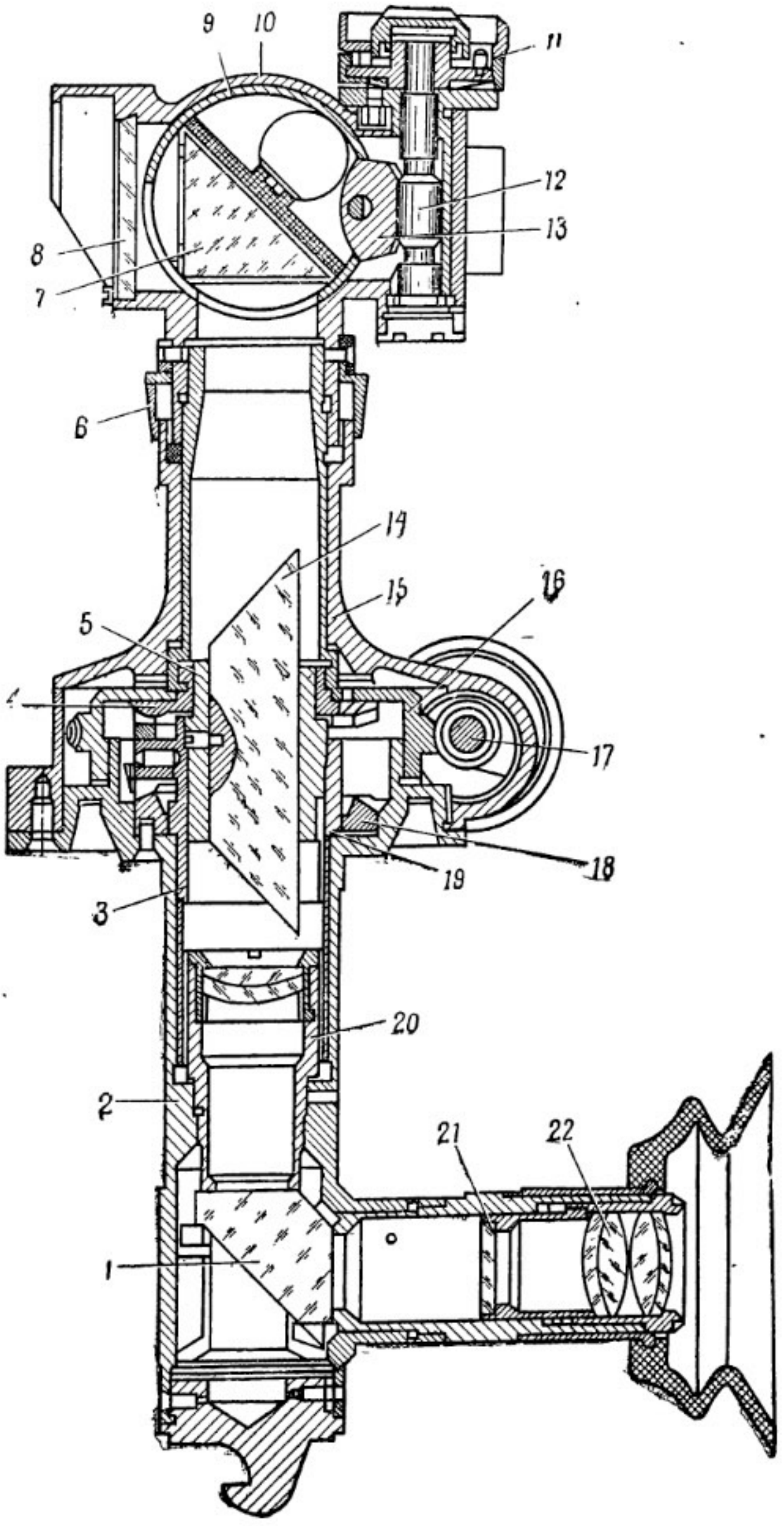


Рис. 16.5. Орудийная

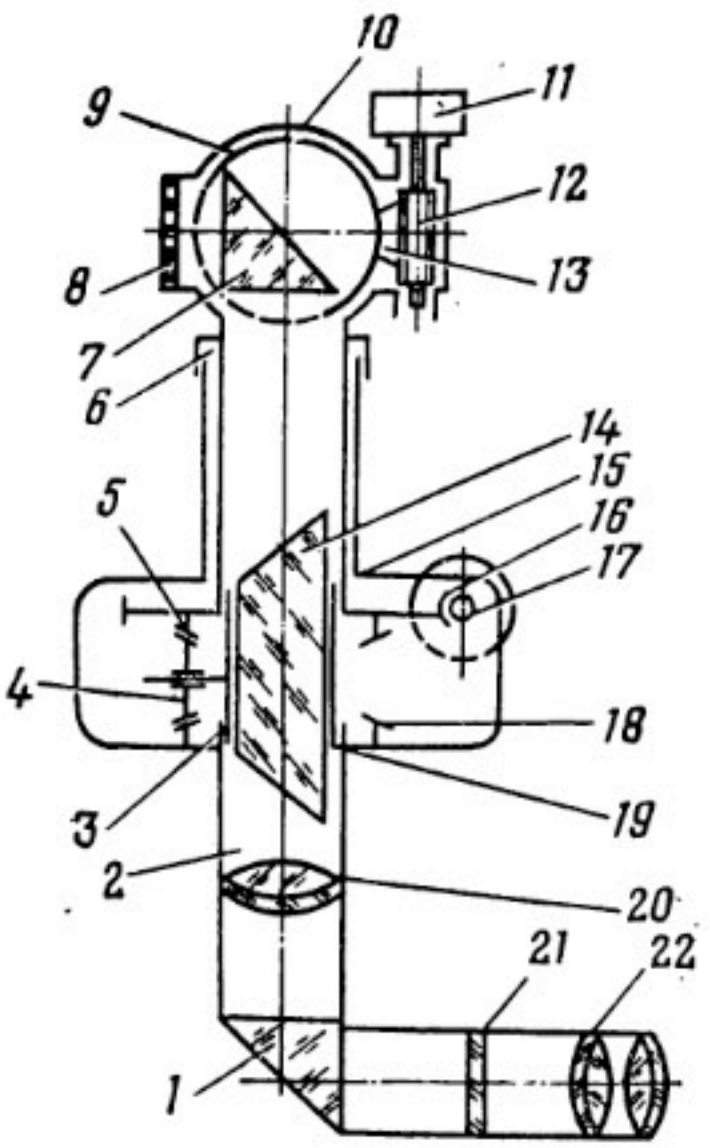
А — поворотная часть панорамы; *Б* — отводка червяка угломера; *В* — тормоз; *Г* — непо- *И* — визирное приспособление; *К* — механизм отражателя; *1* — призма АкР-90°; *2* — корпус стерня; *6* — шкала угломера грубого отсчета; *7* — призма АР-90°; *8* — защитное стекло; *13* — червячный сектор; *14* — призма АР-0°; *15* — корпус угломера; *16* — червячное колесо; стинка с сеткой панорамы; *22* — окуляр; *23* — шкала отражателя грубого отсчета; *24* — отс



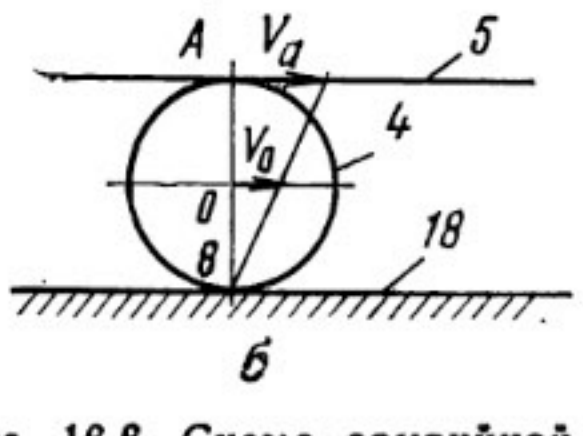
панорама ПГ-1М:

движный корпус; *Д* — крюк; *Е* — окуляр; *Ж* — конический желоб; *З* — механизм угломера; нижней части; *3* — направляющий цилиндр; *4* — промежуточная шестерня; *5* — верхняя ше- *9* — обойма отражателя; *10* — поворотная головка; *11* — маховик отражателя; *12* — червяк; *17* — червяк угломера; *18* — неподвижная шестерня; *19* — обойма; *20* — объектив; *21* — пла- кольцо отражателя со шкалой точного отсчета; *25* — кольцо со шкалой угломера точного чета

норамы призма АР-0° поворачивается в ту же сторону, но отставая от призмы АР-90° на половину угла ее поворота.



а



б

Рис. 16.6. Схема орудийной панорамы:

а — оптико-кинематическая схема: *1* — призма АкР-90°; *2* — корпус нижней части; *3* — направляющий цилиндр; *4* — промежуточная шестерня; *5* — верхняя шестерня; *6* — шкала диомера грубого отсчета; *7* — призма АР-90°; *8* — защитное стекло; *9* — обойма отражателя; *10* — поворотная головка; *11* — маховик отражателя; *12* — червяк; *13* — червячный сектор; *14* — призма АР-0°; *15* — корпус угломера; *16* — червячное колесо; *17* — червяк угломера; *18* — неподвижная шестерня; *19* — обойма; *20* — объектив; *21* — пластинка с сеткой панорамы; *22* — окуляр; *б* — схема действия дифференциального устройства панорамы

В оптическую систему панорамы входят защитное стекло *8*, призма-отражатель АР-90° *7*, поворачивающая призма АР-0° *14*, линзы объектива *20*, крышеобразная призма АкР-90° *1*, плоскопараллельная пластинка *21* с сеткой, линзы окуляра *22*.

Взаимное расположение призм и линз, их форма и относительное вращение рассчитаны так, чтобы после прохождения лучей через оптическую систему получалось прямое неискаженное и увеличенное в 3,7 раза изображение наблюдаемого предмета.

Защитное стекло *8* предохраняет оптическую систему панорамы от пыли и влаги.

Призма-отражатель АР-90° *7* изменяет направление лучей, идущих от наблюдаемых предметов, на 90° и дает перевернутое на 180° изображение предметов. Призма АР-0° *14* поворачивает изображение предмета (в одной из плоскостей) на 180°, вследствие чего оно вновь становится прямым. Объектив *20* обеспечивает получение в своей фокальной плоскости действительного, уменьшенного и обратного наблюдаемому (правая сторона — слева, верх — внизу) изображения предмета.

Призма АкР-90° *1* изменяет направление пучка лучей на 90°, направляя их в окуляр панорамы, и оборачивает изображение предмета, благодаря чему обратное изображение становится прямым.

Плоскопараллельная пластинка *21* с сеткой установлена в фокальной плоскости объектива и окуляра *22*. На ней нанесены перекрестие *1* (рис. 16.7), центральный угольник (прицельный знак) *2*, шкала *3* боковых поправок и шкала *4* для отметки по орудийному коллиматору К-1. При стрель-

бе ночью шкалы и знаки освещаются через боковое окно окулярной трубки фонарем прибора освещения.

Окуляр *22* (рис. 16.6) служит для наблюдения изображения предмета, которое дает объектив, под большим углом зрения, т. е. увеличенным. Для удобства наблюдения на окуляр панорамы надевается наглазник.

Для наведения орудия в цель необходимо установить прицел по шкале тысячных или одной из шкал дистанционного барабана, угол места цели — по уровню, угломер панорамы — в соответствии

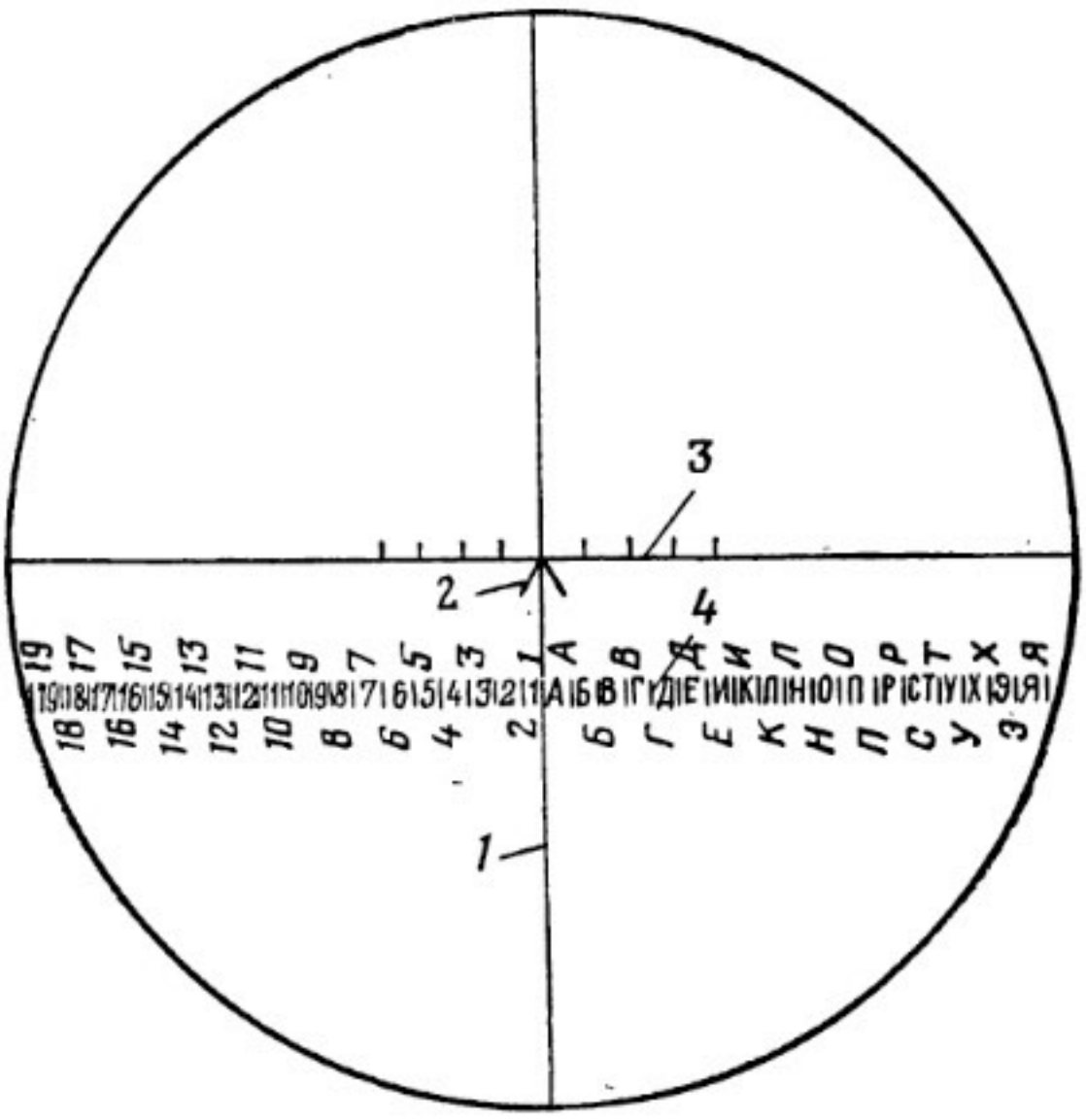


Рис. 16.7. Сетка панорамы ПГ-1М:

1 — перекрестие; *2* — прицельный знак; *3* — шкала боковых поправок; *4* — шкала для отметки по орудийному коллиматору К-1

с поданной командой, вывести механизмом поперечного качания на середину пузырек поперечного уровня. Придать подъемным механизмом стволу орудия угол возвышения (склонения), выводя пузырек продольного уровня на середину. Поворотным механизмом орудия и маховичком отражателя панорамы совместить вершину центрального угольника с точкой наводки.

Механический прицел М-30Ц — независимый от орудия, с независимой линией прицеливания. Общий вид этого прицела изображен на рис. 16.8.

Прицел М-30Ц предназначен, как и прицел С-71, для наводки орудия в цель при стрельбе с закрытых огневых позиций, но может быть использован и для стрельбы прямой наводкой.

Прицел состоит из следующих основных механизмов и частей:

— механизма углов прицеливания;
— механизма углов места цели (бокового уровня);
— механизма поперечного качания;

— подъемного механизма прицела;
— стрелок;
— корзинки для панорамы с поперечным уровнем.

Механизм углов прицеливания служит для установки на прицеле углов прицеливания. Состоит из коробки (корпуса) *12* прицела, передаточного валика *19* с винтовым колесом *11* и маховиком *26*, червяка *9* (надетого на среднюю часть передаточного валика), цапфы *7* коробки прицела, подшипника *10* прицела, дистанционного барабана *8*.

На поверхности дистанционного барабана нанесены шкалы, цифры на которых окрашены в черный и красный цвета. Одно деление шкалы дистанционного барабана для всех зарядов соответствует изменению дальности падения снаряда на 50 м. Цифры, окрашенные в черный цвет, служат для установки прицела при углах прицеливания до 45°. Цифры, окрашенные в красный цвет, предназначаются для установки прицела при углах прицеливания больше 45°. Отсюда принято называть шкалы: «Шкала черная», «Шкала красная». Кроме того, на торцевой поверхности дистанционного барабана нанесена шкала *6* тысячных. Шкала тысячных имеет деления через две тысячные. Обозначения нанесены через каждые 50 тысячных.

Коробка *12* прицела через подъемный механизм *32* прицела неподвижно соединена с верхним станком орудия.

Установка заданных углов прицеливания производится по дистанционным шкалам или шкале тысячных путем вращения маховика *26* механизма углов прицеливания, при этом вращается передаточный валик *19* с червяком *9*, вращение которого передается цапфе *7* коробки прицела, которая вращается вместе с подшипником *10* прицела и стрелкой *16* прицела, закрепленной на подшипнике *10*. Вместе с червяком *9* вращается винтовое колесо *11*, которое вращает дистанционный барабан *8*. При повороте дистанционного барабана на заданный угол прицеливания стрелка *16* прицела поворачивается на такой же угол.

Механизм углов места цели (боковой уровень) служит для установки углов места цели. Состоит из маховика *5*, валика *25* с конической шестерней *24*, барабанчика *37*, шпинделя *20* с буксой *18*, конической шестерни *22*.

На барабанчике нанесены шкалы тысячных от 0 до ±250 тысячных (цена деления две тысячные) и винтовая канавка. Деления обозначены через 10 тысячных. Барабанчик *37* неподвижно соединен с маховиком *5*. В винтовую канавку входит выступ указательного кольца *23*.

Установка заданных углов места цели производится по шкале тысячных относительно индекса указательного кольца. Вращая маховик *5* механизма углов места цели, вращается барабанчик, по винтовой канавке перемещается указательное кольцо *23*, одновременно вращается валик *25* с конической шестерней *24*. Вращение шестерни *24* передается конической шестерне *22*, закрепленной на шпинделе *20*. При этом пустотелый шпиндель *20* ввинчивается

в коническую шестерню *22* или вывинчивается из нее. Поступательное движение шпинделя передается связанной с ним направляющей буксе *18* и червяку *9*. Червяк *9*, как и рейка, поворачивает цапфу *7* коробки прицела вместе с подшипником *10* и стрелкой *16* прицела. Таким образом, при установке угла места цели стрелка прицела поворачивается на указанный угол.

Механизм поперечного качания в основном имеет назначение и устройство, аналогичные механизму поперечного качания прицела С-71 (рис. 16.3). Отличие состоит лишь в том, что валик *2* с ушком (рис. 16.8) соединен с подшипником *10* прицела, а матка *4* — с цапфой *7* коробки прицела. Так как подшипник *10* прицела перемещаться не может, то при вращении маховика *1* матка *4* механизма будет навинчиваться на разрезной винт *3* или свинчиваться с него. При этом будет вращаться цапфа *7* коробки прицела с коробкой *12*, т. е. будет происходить поперечное качание прицела.

Подъемный механизм прицела служит для установки прицела по боковому уровню и для совмещения перекрестия панорамы с точкой прицеливания при стрельбе прямой наводкой. Он состоит из верхнего шпинделя *27* с ползуном *38*, нижнего шпинделя *29*, оси *28*, серьги *30*, гайки *31* шпинделя.

Подъемный механизм прицела с помощью серьги *30* крепится к верхнему станку орудия. В гайке шпинделя есть вырез, в который вставлен сегмент *39*. Сегмент прижимается пружинами к верхнему и нижнему шпинделям, благодаря этому выбирается мертвый ход подъемного механизма прицела.

Для установки прицела в горизонтальное положение по продольному уровню с помощью подъемного механизма прицела необходимо, вращая гайку *31* шпинделя, выгнать пузырек продольного уровня *13* на середину. При вращении гайки *31* шпинделя верхний *27* и нижний *29* шпиндели будут одновременно или ввинчиваться в гайку, или вывинчиваться из нее. При вывинчивании шпинделей прицел будет наклоняться вперед вместе со стрелкой *16* прицела, а при ввинчивании — наклоняться назад.

Прицел имеет две стрелки: орудийную стрелку *16* и стрелку *17* прицела. Стрелка *17* прицела надета на патрубок подшипника *10* прицела и закреплена на нем неподвижно. Орудийная стрелка *16* свободно надета на нижний выступ стрелки прицела, закреплена от выпадания шайбой и приводится во вращение упором на фланце цапфы *7* прицела. При установке углов прицеливания и углов места цели стрелка *16* прицела перемещается на указанные углы. Она также перемещается и при работе на подъемном механизме прицела. Орудийная стрелка *17* при этом остается неподвижной. При работе подъемным механизмом *32* орудия вращается цапфа *7* прицела, которая своим упором на фланце вращает орудийную стрелку *16*; стрелка *17* прицела при этом остается неподвижной. Вращение орудийной стрелки *16* производят до совмещения ее указателя *15* с указателем *14* стрелки прицела. При этом стволу орудия будет придан заданный угол возвышения.

Корзинка *36* панорамы по назначению и устройству в основном аналогична корзинке панорамы прицела С-71. Отличие лишь в том, что на ней закреплены продольный *13* и поперечный *21* уровни, одинаковые по своему устройству.

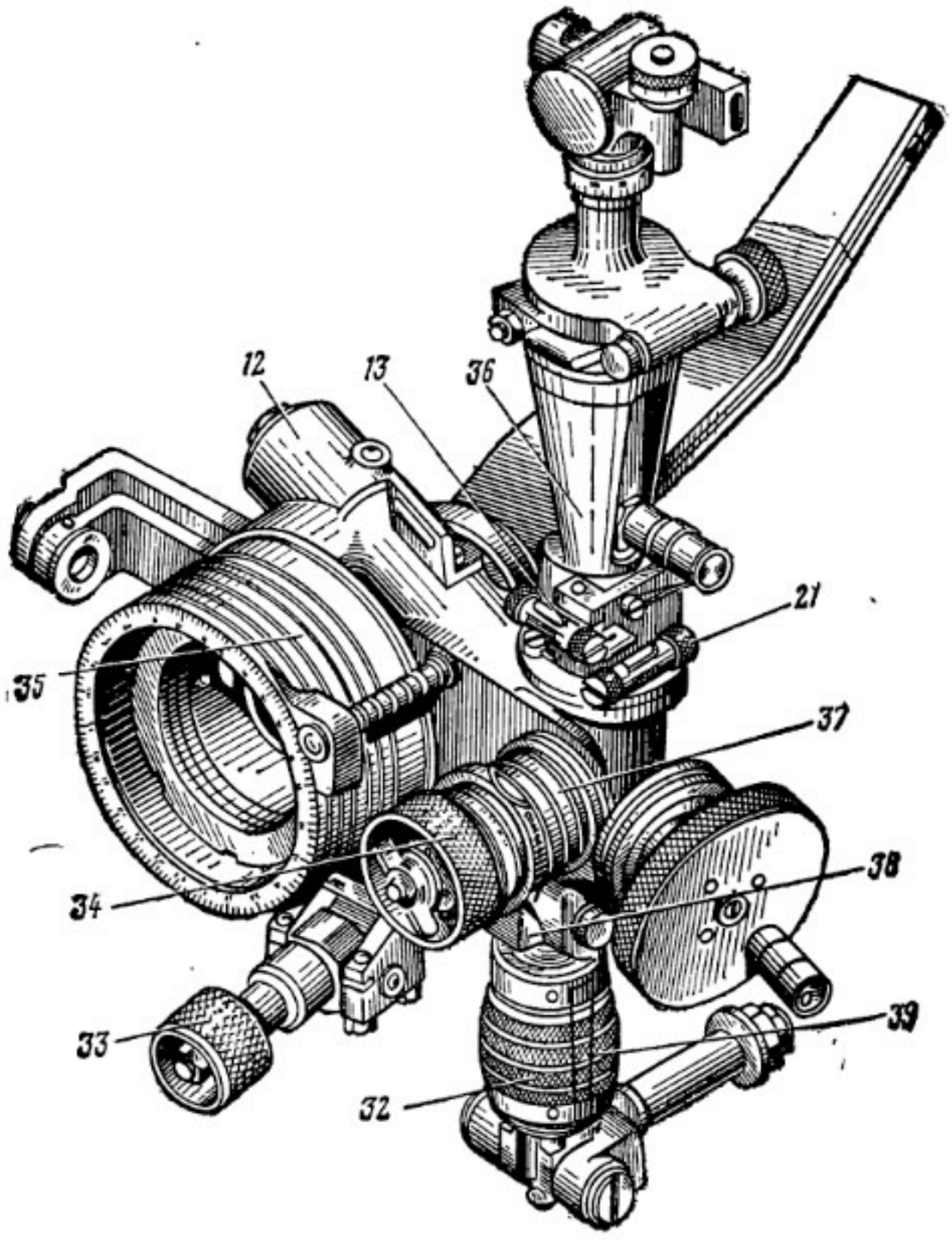


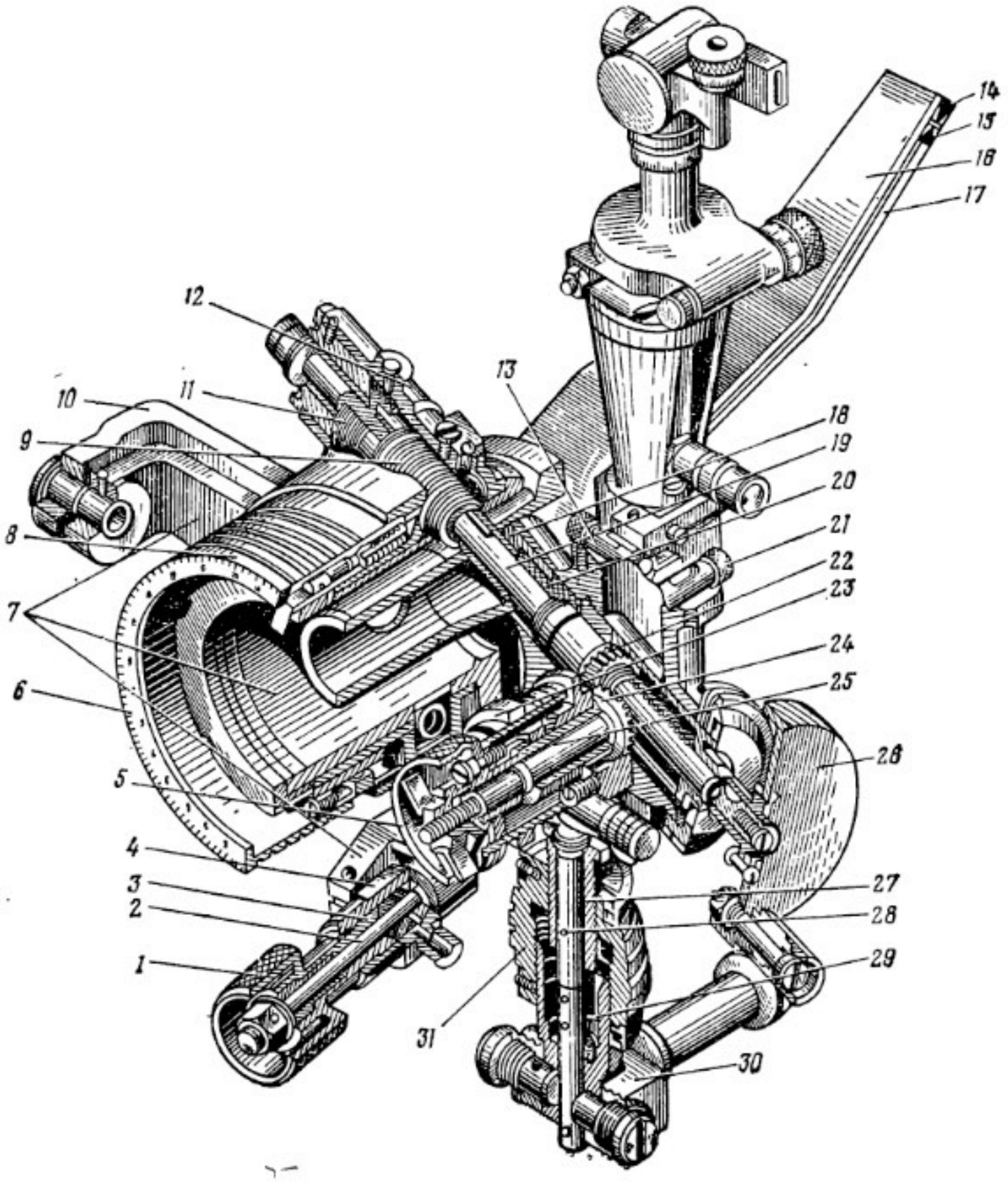
Рис. 16.8. Механический

1 — маховик механизма поперечного качания; *2* — валик с ушком; *3* — разрезной винт; ционном барабане; *7* — цапфа коробки прицела; *8* и *35* — дистанционные барабаны; прицела; *13* — продольный уровень; *14* — указатель прицельной стрелки; *15* — указатель *19* — валик; *20* — шпиндель; *21* — поперечный уровень; *22* — коническая шестерня; *23* — углов прицеливания; *27* — верхний шпиндель; *28* — ось; *29* — нижний шпиндель; *30* — речного качания; *34* — механизм углов места цели; *36* — корзинка панорамы; *37* — бара

Для наведения орудия в цель необходимо установить прицел вертикально по поперечному и продольному уровням, выведя их пузырьки на середину, установить угломер согласно поданной команде. На механизме углов места цели установить заданный угол места цели, на механизме углов прицеливания — заданный прицел.

Поворотным механизмом орудия и отражателем совместить вершину центрального угольника сетки панорамы с точкой навод-

ки или коллиматором К-1. Подъемным механизмом орудия придать стволу угол возвышения, совместив указатель орудийной стрелки *15* с указателем *14* стрелки прицела.



прицел М-30Ц:

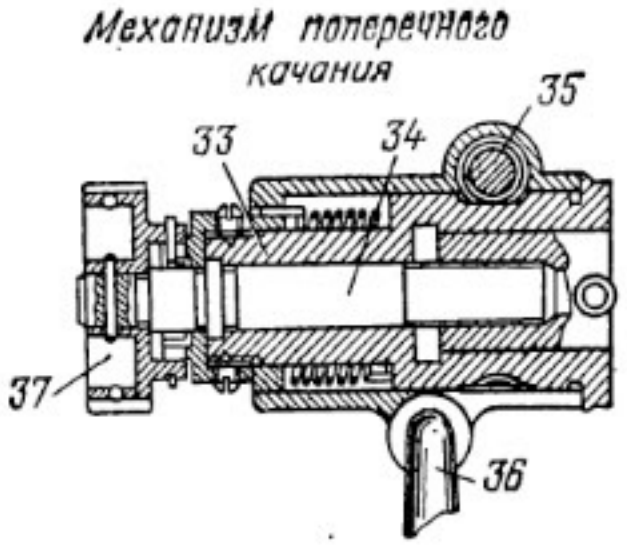
4 — матка; *5* — маховик механизма углов места цели; *6* — шкала тысячных на дистан- *9* — червяк; *10* — подшипник прицела; *11* — винтовое колесо; *12* — коробка (корпус) орудийной стрелки; *16* — прицельная стрелка; *17* — орудийная стрелка; *18* — букса; указательное кольцо; *24* — коническая шестерня; *25* — валик; *26* — маховик механизма серьга; *31* — гайка шпинделя; *32* — подъемный механизм прицела; *33* — механизм попе- банчик механизма углов места цели; *38* — ползун; *39* — сегмент

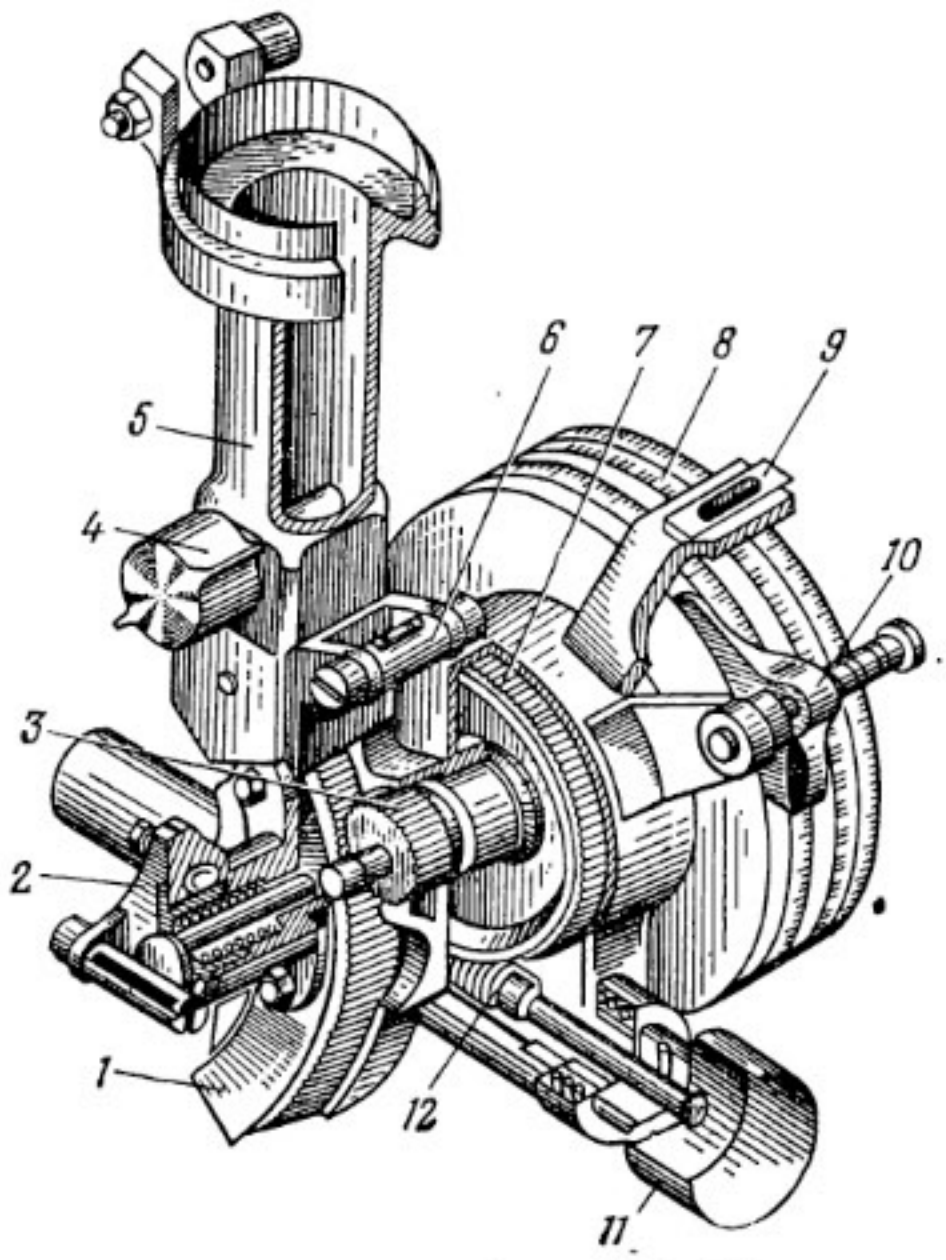
Механический прицел ЗИС-3 — дугового типа, зависимый от орудия, с зависимой линией прицеливания (рис. 16.9). Предназначен для наводки орудия в цель при стрельбе с закрытых огневых позиций. Может быть использован и для стрельбы прямой наводкой. Крепится к кронштейну *15* верхнего станка орудия. Соединяется с цапфой *13* люльки тягой *16* параллелограмма.

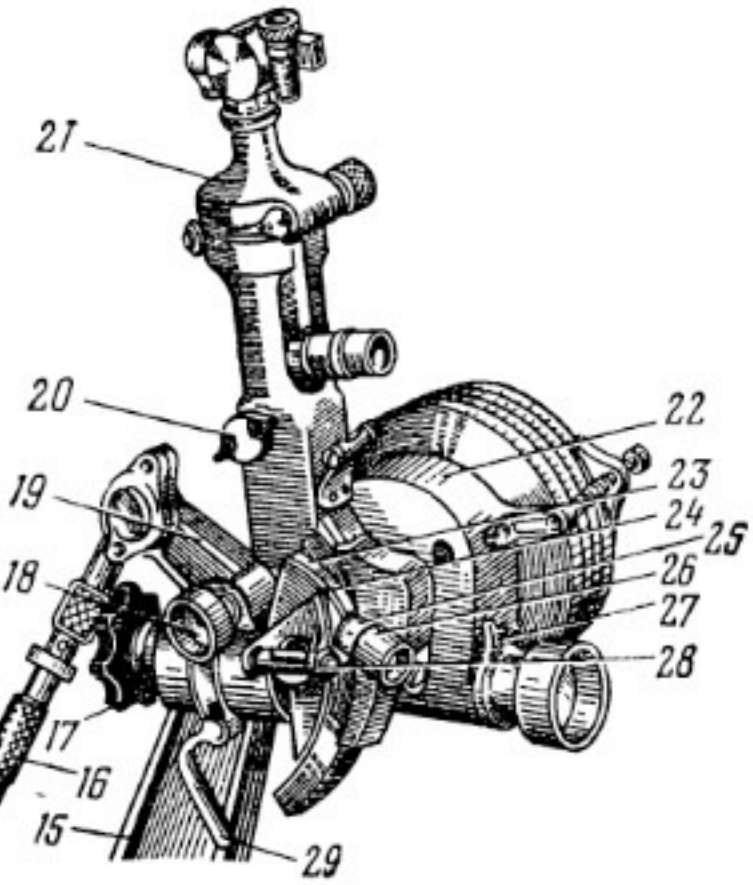
Прицел состоит из корпуса *22*, стебля *1* прицела с корзинкой *5* панорамы, механизма углов прицеливания, механизма углов места

цели, механизма поперечного качания, механизма качания прицела в вертикальной плоскости (параллелограмма), панорамы *21*.

Корпус *22* прицела служит для сборки всех деталей прицела.







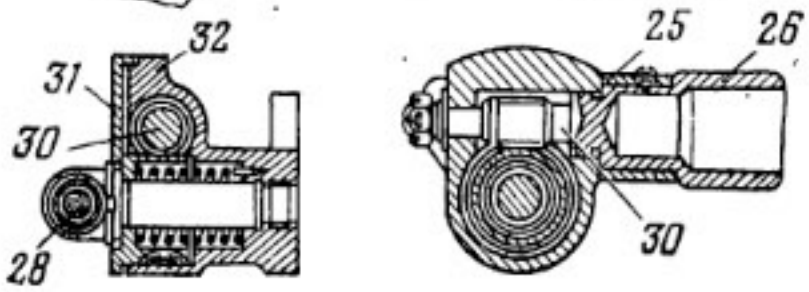


Рис. 16.9. Механический прицел ЗИС-3:

1 — стебель прицела; *2* и *31* — основания; *3* — цилиндрическая шестерня на патрубке червячного колеса; *4* — защелка; *5* — корзинка панорамы; *6* — поперечный уровень; *7* — червячное колесо; *8* — дистанционный барабан; *9* — кронштейн; *10* — указатель; *11* — маховик механизма углов прицеливания; *12* — червяк; *13* — цапфа люльки; *14* — нижний рычаг; *15* — кронштейн верхнего станка; *16* — тяга; *17* — маховик затяжного валика; *18* — маховик; *19* — верхний рычаг; *20* — защелка; *21* — панорама; *22* — корпус прицела; *23* — шкала тысячных грубого отсчета; *24* — указатель шкалы тысячных грубого отсчета; *25* — шкала тысячных точного отсчета; *26* — маховик механизма углов места цели; *27* — выключатель эксцентриковой втулки; *28* — продольный (боковой) уровень; *29* — рукоятка; *30* — червяк; *32* — корпус; *33* — сектор; *34* — затяжной валик; *35* — червяк; *36* — рукоятка; *37* — маховик

Стебель *1* прицела представляет собой дугообразный брусок. В верхней части его закреплена корзинка *5* панорамы, сбоку — механизм углов места цели (боковой уровень).

Механизм углов прицеливания служит для установки углов прицеливания. Состоит из маховика *11*, червяка *12* с выключателем *27* эксцентриковой втулки, червячного колеса *7* и дистанционного барабана *8*. К червячному колесу *7* крепится ди-

станционный барабан *8*, на котором нанесены шкала тысячных и дистанционные шкалы. На патрубке червячного колеса *7* имеется цилиндрическая шестерня *3*. Для установки углов прицеливания необходимо, вращая маховик *11* механизма углов прицеливания, установить по дистанционным шкалам или шкале тысячных заданный угол прицеливания. При вращении маховика *11* вращаются червяк *12* и червячное колесо *7* с дистанционным барабаном *8*. Одновременно с установкой прицела выдвигается дуговой стебель с панорамой и механизмом углов места цели (продольным уровнем). При этом оптическая ось панорамы и ось продольного уровня наклоняются на величину заданного угла прицеливания. Для быстрого выдвижения стебля прицела необходимо повернуть выключатель *27* эксцентриковой втулки, при этом червяк *12* выйдет из зацепления с червячным колесом *7* и даст возможность быстро выдвинуть стебель вручную.

Механизм углов места цели служит для установки углов места цели. Состоит из маховика *26* с кольцом, на котором нанесена шкала *25* тысячных точного отсчета (цена деления 0-01), червяка *30*, основания *31* с червячной резьбой для сцепления с червяком *30*, продольного уровня *28*. На корпусе *32* нанесены шкала *23* тысячных грубого отсчета (цена деления 1-00) и указатель шкалы тысячных точного отсчета. На основании *31* нанесен указатель *24* шкалы тысячных грубого отсчета.

Для установки углов места цели необходимо, вращая маховик *26* механизма углов места цели, установить их по шкалам тысячных грубого и точного отсчетов относительно указателей.

При вращении маховика *26* вращаются червяк *30* и основание *31* с продольным уровнем *28*; при этом ось продольного уровня получит наклон на заданный угол.

Механизм поперечного качания предназначен для установки прицела в вертикальное положение при наклоне оси цапф орудия из-за неровности грунта. Состоит из сектора *33* с конусом, червяка *35*, рукоятки *36*, затяжного валика *34* с маховиком *37*.

При вращении маховика *18* червяка *35* вращается сектор. Так как сектор с помощью затяжного валика *34* соединен неподвижно с патрубком корпуса прицела, то при вращении сектора качается и прицел.

Механизм качания прицела в вертикальной плоскости (параллелограмм) служит для соединения прицела с качающейся частью орудия. Состоит из корпуса *22*, двух рычагов (нижнего *14* и верхнего *19*) и тяги *16*.

При вращении цапф *13* люльки вращается нижний рычаг *14* тяги *16*, вращение через тягу *16* передается верхнему рычагу *19*. Вместе с верхним рычагом *19* вращается вокруг оси, параллельной оси цапф люльки, корпус *22* с закрепленным в нем прицелом.

Для наведения орудия в цель необходимо установить прицел вертикально по поперечному уровню, выведя пузырек уровня на середину. Установить угломер и уровень в соответствии с подан-

ной командой. Затем установить скомандованный прицел. Подъемным механизмом орудия придать стволу требуемый угол возвышения, для чего вывести пузырек продольного уровня на середину. Поворотным механизмом орудия и отражателем панорамы совместить вершину центрального угольника панорамы с точкой наводки.

Из изложенного видно, что советские ученые создали разнообразные механические прицелы, широко используемые для установки на различные артиллерийские орудия.

Нормализованный прицел обр. 1930 г. по конструкции подобен прицелу ЗИС-3. Он был создан в период модернизации артиллерийского вооружения Советской Армии на базе существовавших ранее прицелов дугового типа. Название «нормализованный» этого прицела означало, что он предназначен для укомплектования большинства артиллерийских орудий того периода. В настоящее время он устанавливается на 203-мм гаубицы Б-4М.

Прицел со стрелками М-30Ц был создан в предвоенный период; он устанавливается на 122-мм гаубицы М-30, 152-мм гаубицы Д-1, 152-мм гаубицы-пушки обр. 1937 г. МЛ-20 и др. орудия. Наведение орудий с этим прицелом осуществляется двумя наводчиками: горизонтальное — первым наводчиком, вертикальное — вторым. Применение данных прицелов несколько разгрузило работу первого наводчика и позволило просто осуществлять приведение ствола в положение для заряжания без нарушения горизонтальной наводки, но затруднило стрельбу прямой наводкой по движущимся целям.

Прицел ЗИС-3 создан в годы Великой Отечественной войны. Он подобен «нормализованному» прицелу обр. 1930 г., но имеет более простую конструкцию. Устанавливается на 85-мм пушки Д-44, 100-мм пушки БС-3, боевые машины реактивной артиллерии.

В 1955 г. прицелу ЗИС-3, который устанавливался на боевые машины реактивной артиллерии, был присвоен индекс 8У-011. Наведение орудия с помощью этого прицела выполняется так же, как и при использовании нормализованного прицела.

В послевоенный период развития реактивной артиллерии точность дуговых прицелов («нормализованного» обр. 1930 г., ЗИС-3) и прицелов со стрелками М-30Ц перестала удовлетворять требованиям, предъявляемым к точности стрельбы по дальности. Поэтому в состав нормализованных прицелов обр. 1930 г. и прицелов со стрелками М-30Ц был введен орудийный корректор по дальности. В 1950 г. был разработан и принят на вооружение принципиально новый панорамный прицел С-71, который по своим тактико-техническим характеристикам и эксплуатационным качествам значительно превосходил все ранее существовавшие прицелы.

Прицел С-71 по весу и элементам крепления на орудии был создан взаимозаменяемым с прицелом ЗИС-3. Для него были предусмотрены два вида крепления на орудии: непосредственно на качающейся части и на кронштейне верхнего станка (в этом случае он соединяется с качающейся частью параллелограммом).

По сравнению с прицелом ЗИС-3 прицел С-71 имеет: в два раза большую точность в придании орудию углов прицеливания и углов места цели; в пять раз меньшие мертвые хода в механизмах; в двадцать раз меньшую продольную качку и в два раза поперечную; отсутствие сбиваемости установок на шкалах; в три с половиной раза крупнее дистанционную шкалу прицела, что улучшает ее удобочитаемость.

Прицел С-71 обеспечивает установку углов прицеливания до 45° и предназначен для установки на дивизионных и корпусных пушках взамен прицела ЗИС-3. Для использования данного прицела на гаубицах и боевых машинах реактивных систем он изготовляется таким образом, чтобы обеспечивалась установка углов прицеливания до 72°. В этом варианте прицел получил индекс Д-726.

§ 16.3. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИЦЕЛЫ И ВИЗИРЫ

Прицелы, у которых построение прицельных углов производится за счет перемещения деталей, входящих в оптическую систему, называются **оптическими** прицелами.

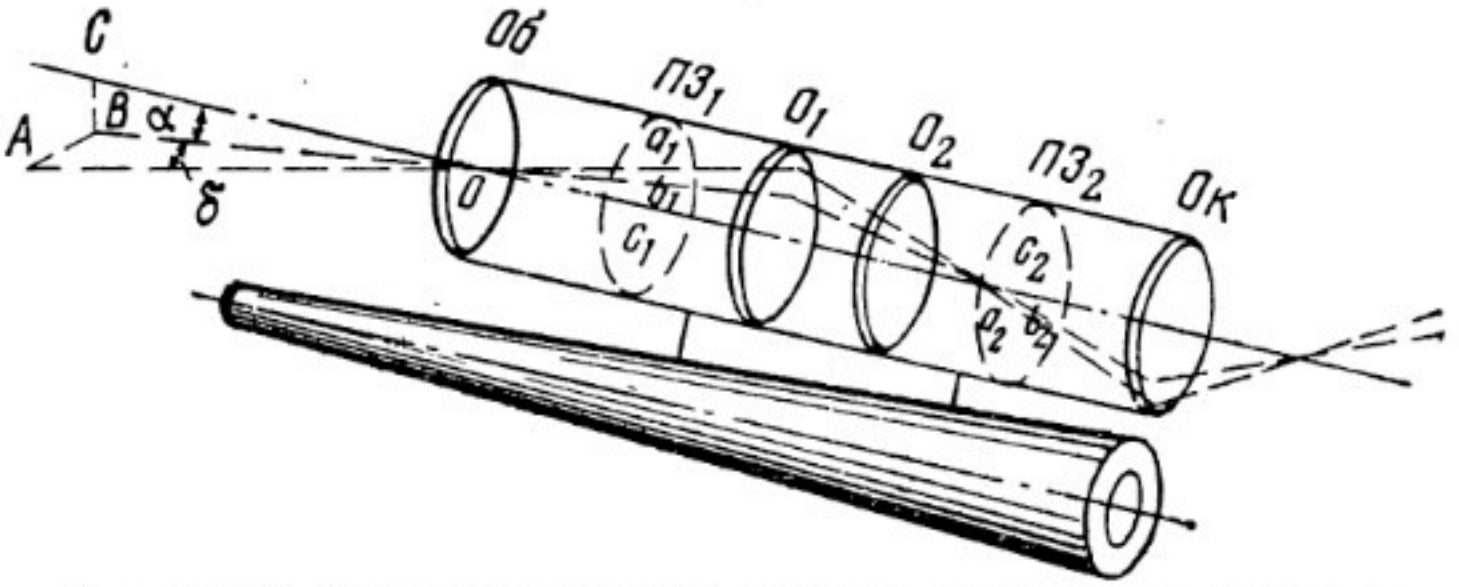


Рис. 16.10. Схема оптической системы оптического прицела:
Об — объектив; *Ок* — окуляр; O_1, O_2 — линзы оборачивающей системы; $ПЗ_1$, $ПЗ_2$ — плоскопараллельные пластинки со шкалами и индексами

Оптические прицелы предназначаются для наведения орудий при стрельбе прямой наводкой. Как правило, эти прицелы жестко соединены с качающейся частью и при наведении орудия корпус их перемещается только во время работы механизмов наведения орудия.

Наиболее распространенной схемой оптического прицела является схема прямой зрительной трубы с линзовой оборачивающей системой (рис. 16.10).

Оптическая система прицелов состоит из следующих частей: объектива *Об*, окуляра *Ок*, линз оборачивающей системы O_1 и O_2, плоскопараллельной пластинки со шкалами и прицельным знаком.

Плоскопараллельная пластинка со шкалами и прицельным знаком может находиться в двух различных плоскостях оптической системы: либо в фокальной плоскости объектива $ПЗ_1$, либо в фокальной плоскости второй линзы оборачивающей системы $ПЗ_2$.

Принципиального значения это не имеет, так как эти плоскости сопряжены, т. е. каждой точке плоскости $ПЗ_1$ соответствует единственная точка плоскости $ПЗ_2$, и наоборот.

Выбор месторасположения пластинки со шкалами и прицельным знаком обусловливается конструктивными соображениями размещения механизма углов прицеливания. Если в прицеле предусматривается смена увеличения оптической системы за счет переключения линз оборачивающей системы, то пластинка устанавливается в фокальной плоскости объектива $ПЗ_1$, и в этом случае смена увеличения не влияет на цену деления шкал и на относительное положение линии прицеливания и цели.

Линией прицеливания в этих прицелах является прямая, проходящая через оптический центр объектива O и через вершину прицельного знака a_1 пластинки. Линия прицеливания, параллельная оси канала ствола, называется нулевой линией прицеливания. Положение ее определяется при проверке прицела.

Для построения прицельных углов необходимо перемещать пластинку, находящуюся в плоскости $ПЗ_1$ или $ПЗ_2$, вверх или вниз на величину, при которой между нулевой линией прицеливания и линией прицеливания образуется угол возвышения α, и в сторону на величину, при которой между проекциями этих линий на горизонтальную плоскость образуется угол бокового упреждения δ.

Для наведения орудия в цель после установки углов прицеливания необходимо с помощью механизмов наведения орудия совместить прицельный знак с целью; при этом стволу орудия будут приданы углы α и δ.

Основными характеристиками оптических прицелов являются увеличение, поле зрения, диаметр выходного зрачка, удаление выходного зрачка.

Оптические прицелы отличаются высокой точностью визирования, причем точность растет пропорционально кратности увеличения. Из этого следует, что увеличение необходимо делать возможно большим, однако с увеличением кратности прицела при данном типе окуляра уменьшается поле зрения.

Исходя из этого, увеличение и поле зрения прицела устанавливают следующим образом:

— если стрельба из орудия ведется на большие дальности и по замаскированным целям, то у прицела целесообразно иметь увеличение $\Gamma = 6 \div 8^*$ и относительно небольшое поле зрения $(2W = 10°)$;

— если стрельба ведется из движущегося орудия, для которого большое значение имеет поле зрения, то для таких орудий следует устанавливать прицел с полем зрения $2W = 16 \div 18°$ и сравнительно небольшим увеличением $(\Gamma = 3 \div 4^*)$;

— для орудий, которые должны выполнять большой круг задач, устанавливают прицел со сменным увеличением.

Прицелы, предназначенные для наведения орудия при стрельбе прямой наводкой, должны обеспечивать возможность прицеливания в условиях пониженной видимости, поэтому у них делают раз-

мер выходного зрачка не менее размера зрачка глаза в этих условиях, т. е. 5—7 мм.

Для оптических прицелов удаление поверхности выходного зрачка от последней линзы окуляра делают от 18 до 25 мм.

Принцип устройства шкал оптических прицелов такой же, как и механических, но наносятся они на плоскопараллельных пластинках, которые входят в оптическую систему прицела.

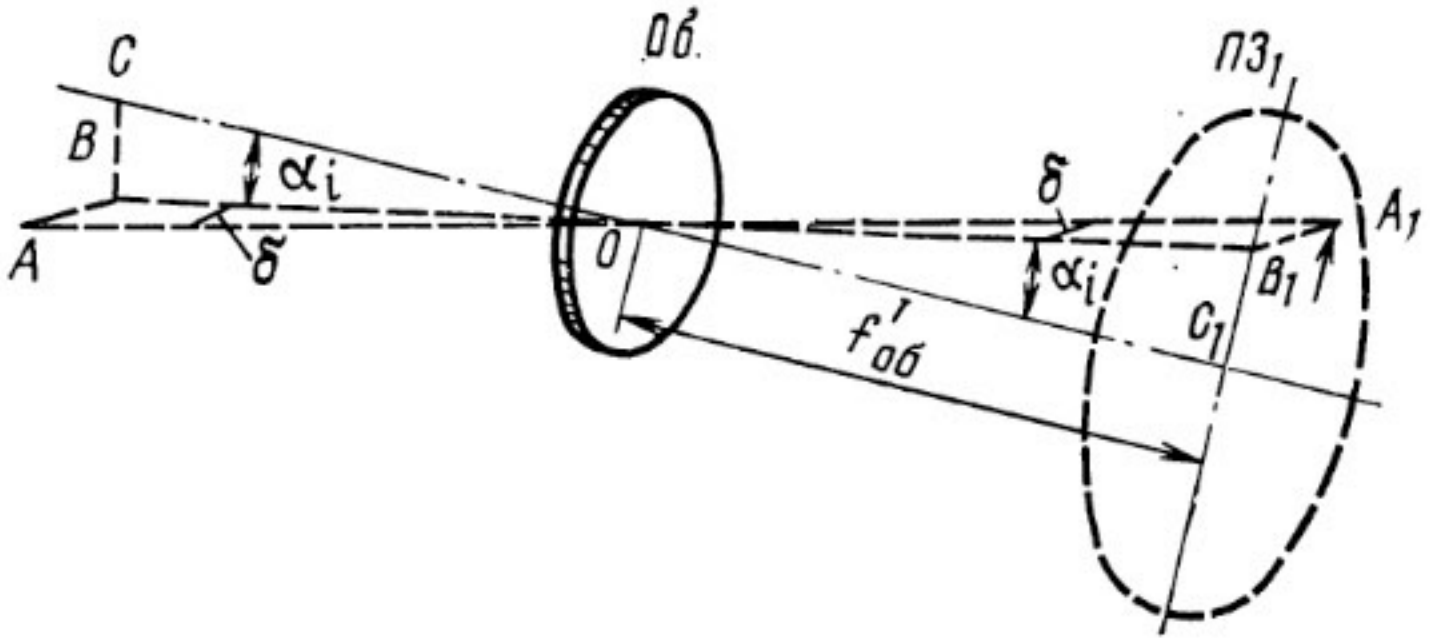


Рис. 16.11. Схема построения шкал оптического прицела

Расчет шкал для данного орудия и для определенного снаряда проводится следующим образом. Задаются различными значениями дальности стрельбы D_i, для которых рассчитывают превышение прицельного знака по вертикали h_i над линией OC_1, т. е. высоту i-го штриха от линии OC_1 (рис. 16.11), по формуле

$$h_i = C_1B_1 = f'_{об} \operatorname{tg} \alpha_i, \qquad (16.2)$$

где α_i — угол прицеливания, соответствующий заданной дальности D_i (берется из таблиц стрельбы);

$f'_{об}$ — фокусное расстояние объектива.

На основании этого расчета получают дистанционную шкалу углов прицеливания. Отсчет углов α при расчете высоты расположения каждого штриха производят от оптической оси прицела. Цена деления дистанционных шкал оптических прицелов обычно составляет 200 м.

Шкалу боковых углов прицеливания рассчитывают по формуле

$$r = A_1B_1 = f'_{об} \operatorname{tg} \delta, \qquad (16.3)$$

где δ — угол упреждения, величина которого задается в делениях угломера.

При расчете необходимо правильно назначать ширину штрихов шкал оптических прицелов, которая обычно устанавливается из условия достаточной их видимости и чтобы штрихи сильно не закрывали поле зрения прицела. Достаточная видимость штрихов шкалы будет обеспечена, если видимая ширина их при наблюдении через окуляр будет не более 0,075 мм.

Считается, что штрихи не будут закрывать поле зрения, если их наибольшая ширина $b_{max}=0{,}014$ мм.

Виды прицельных знаков и шкал, применяемых в оптических прицелах, зависят от назначения прицела, выбранного способа установки прицельных углов и конструкции прицела.

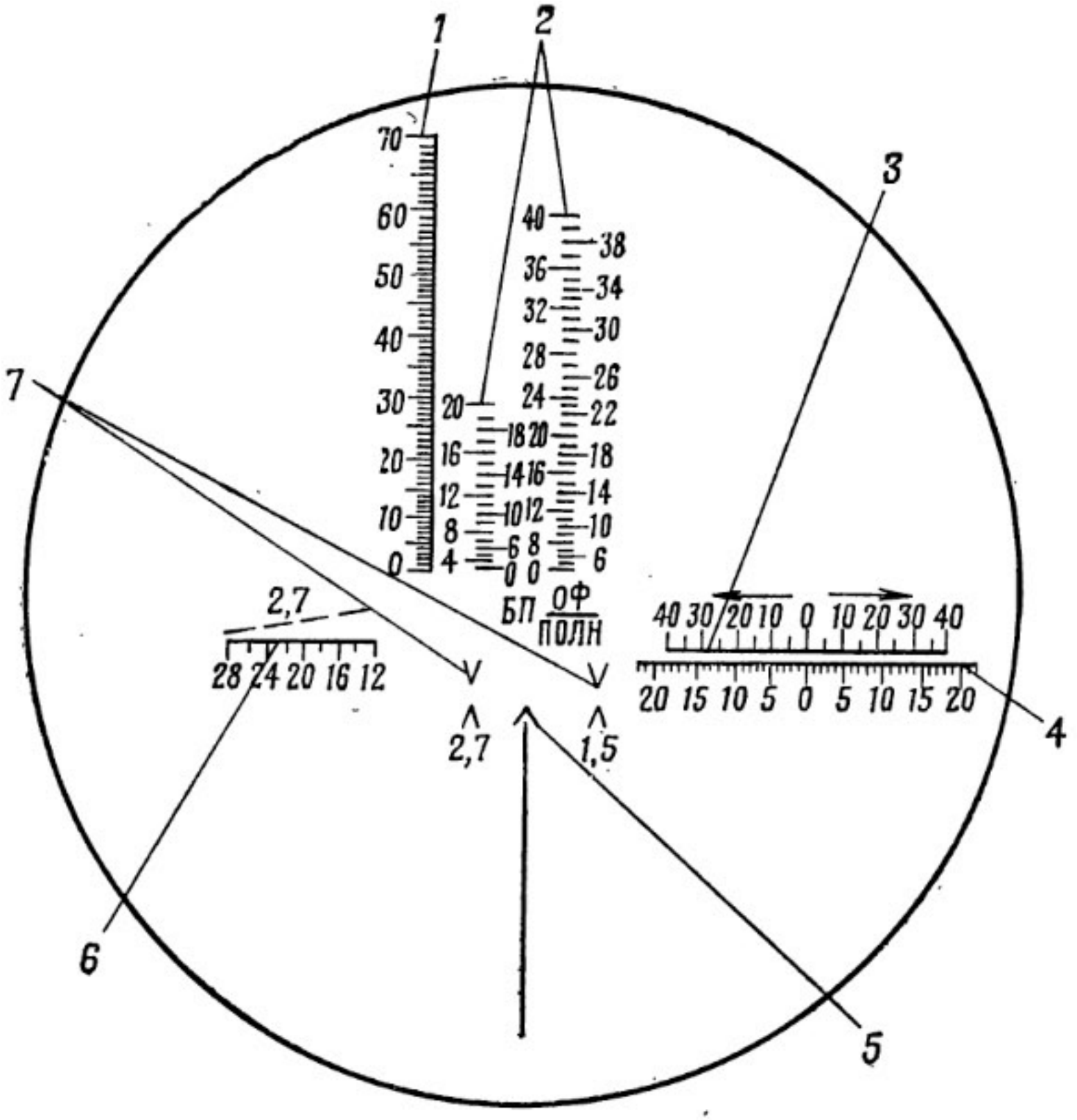


Рис. 16.12. Плоскопараллельная пластинка со шкалами прицела ОП-4: *1* — угломерные шкалы углов прицеливания; *2* — дистанционные шкалы углов прицеливания; *3* — скоростная шкала боковых упреждений; *4* — угломерная шкала боковых упреждений; *5* — прицельный знак; *6* — дальномерная шкала; *7* — угольники для определения дальности прямого выстрела до цели высотой 2,7 и 1,5 м

Шкалы вертикальных углов прицеливания α выполняются как дистанционными *2* (рис. 16.12), так и угломерными *1*. Дистанционные шкалы оцифровываются в сотнях метров (гектометры) и предназначаются для начальной установки угла прицеливания.

Угломерные шкалы оцифровываются в делениях угломера с ценой деления 0-01 и предназначаются для корректировки угла прицеливания при стрельбе.

Шкалы боковых углов прицеливания (углов упреждения) выполняются как угломерными *4*, так и скоростными *3*. Обе они выполняются симметричными с центральным нулем.

Скоростная шкала имеет размерность скорости км/ч, как правило, с ценой деления 5 км/ч и предназначается для начальной установки боковых углов прицеливания в зависимости от величины и направления боковой составляющей скорости перемещения цели.

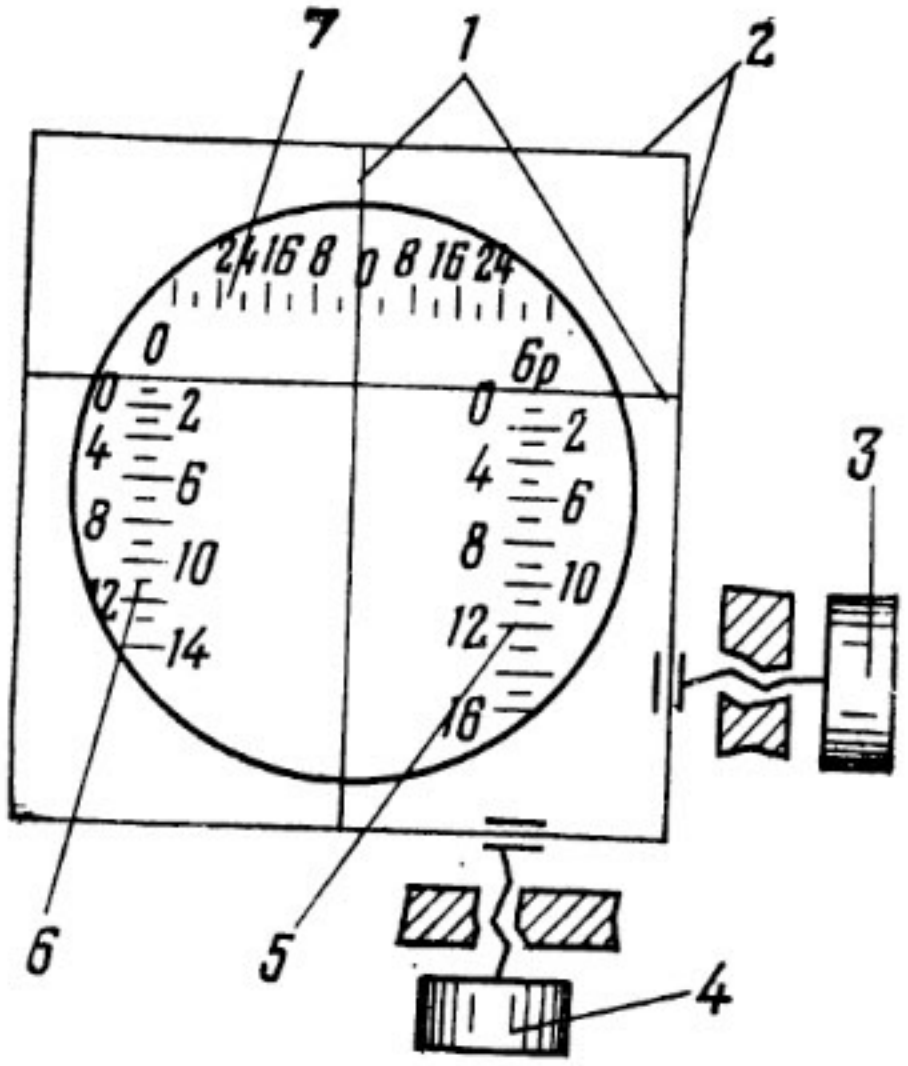


Рис. 16.13. Вид поля зрения и схема механизмов прицелов самоходных и танковых орудий:

1 — перекрестие из металлических нитей; *2* — подвижная каретка; *3* — маховик механизма боковых упреждений; *4* — маховик механизмов углов прицеливания; *5* и *6* — дистанционные шкалы; *7* — шкала углов боковых упреждений

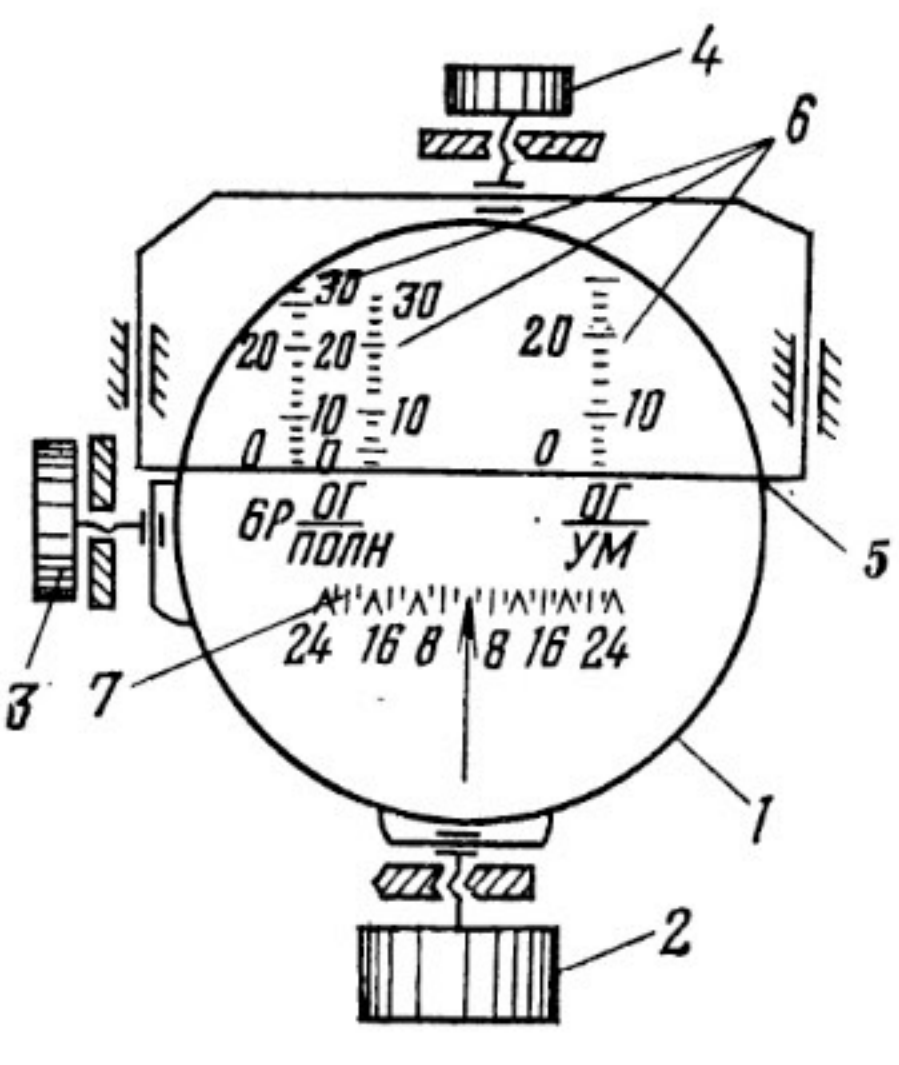


Рис. 16.14. Вид поля зрения и схемы механизмов прицела типа ОП-2:

1 — плоскопараллельная пластинка; *2* — маховичок механизма углов прицеливания; *3* — маховик механизма выверки по направлению; *4* — маховик механизма выверки по высоте; *5* — горизонтальная нить; *6* — дистанционные шкалы углов прицеливания; *7* — шкала боковых упреждений

Угломерная шкала оцифровывается размерностью угломера с ценой деления 0-01 или 0-02 и предназначается для установки боковых углов прицеливания, а у прицелов со скоростной шкалой — для корректировки величины бокового угла прицеливания при стрельбе.

Прицельные знаки служат для наведения орудия в цель. Ими могут быть перекрестия металлических нитей *1* (рис. 16.13), закрепленных в каретке *2*, стрелка *5* (рис. 16.12) или несколько стрелок (рис. 16.14), нанесенных на плоскопараллельной пластинке.

Из существующих оптических прицелов наиболее современной является конструкция оптического прицела типа ОП-4 (рис. 16.15), который состоит из корпуса *3*, оптической схемы, механизма прицеливания, механизма боковых упреждений, механизмов выверок по высоте и по направлению.

Оптическая схема выполнена по схеме прямой зрительной трубы с оборачивающей линзовой системой и с расположением

пластинки со шкалами и прицельными знаками в фокальной плоскости второй линзы оборачивающей системы. Она состоит из объектива *2*, окуляра *12*, оборачивающей системы *5* и плоскопараллельной пластинки *6* со шкалами и прицельным знаком.

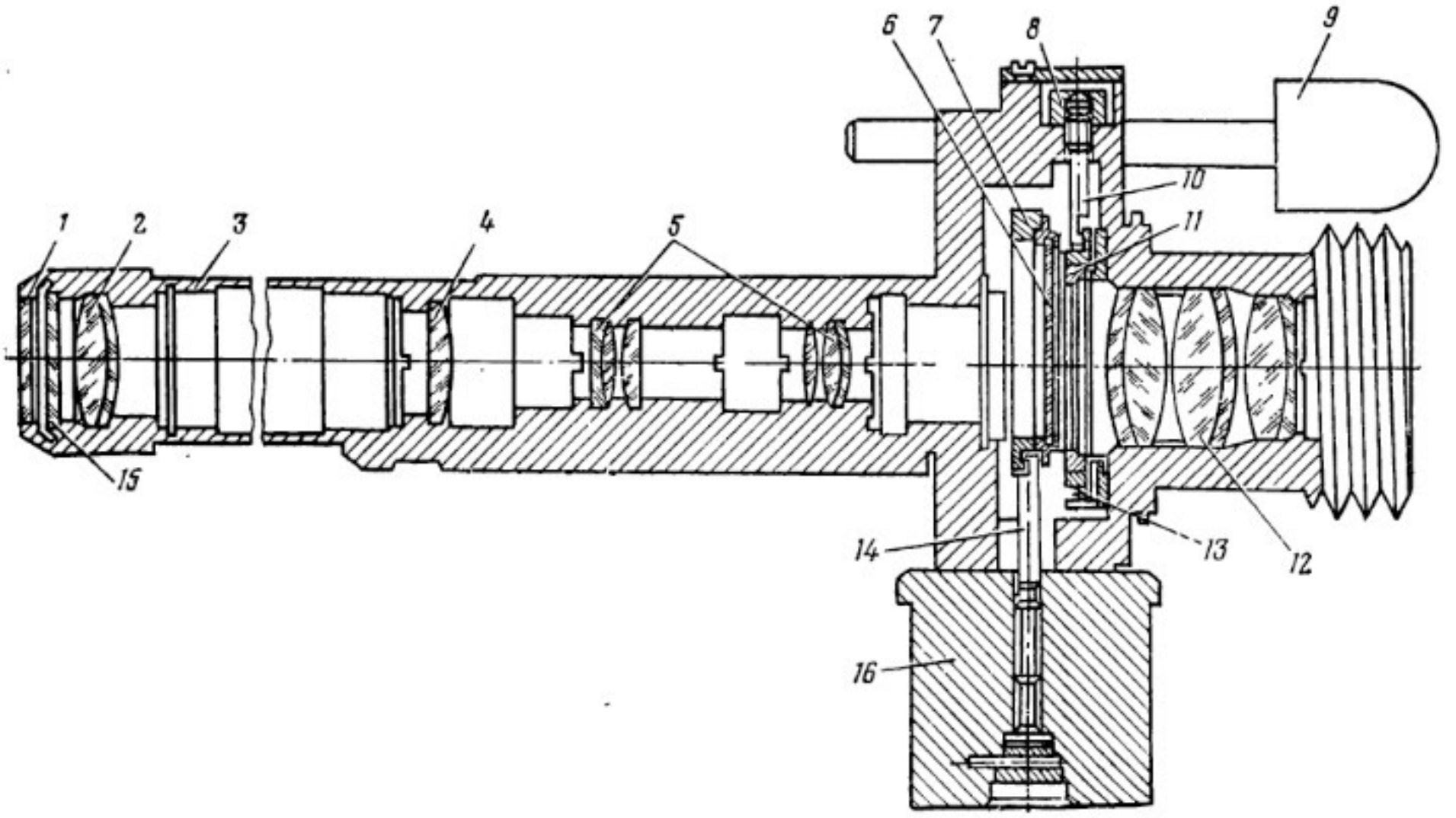


Рис. 16.15. Схема оптического прицела ОП-4:

1 — светофильтр; *2* — объектив; *3* — корпус; *4* — конденсор; *5* — линзовая оборачивающая система; *6* — плоскопараллельная пластинка; *7* — каретка; *8* — гайка; *9* — налобник; *10* — винт; *11* — каретка с горизонтальной и вертикальной нитями; *12* — объектив; *13* — пружина; *14* — винт; *15* — защитное стекло; *16* — маховик

На пластинке (рис. 16.12) нанесены дистанционные *2* и угломерные *1* шкалы углов прицеливания, скоростная *3* и угломерная *4* шкалы боковых упреждений, прицельный знак *5*, дальномерная шкала *6* и две пары угольников *7* с обозначениями 2,7 и 1,5.

Дальномерная шкала предназначается для определения дальности до цели высотой 2,7 м, а две пары угольников служат для определения дальности прямого выстрела до цели высотой 2,7 и 1,5 м.

Механизм углов прицеливания предназначен для установки в прицеле углов прицеливания и состоит из следующих основных деталей (рис. 16.15): маховика *16*, винта *14*, каретки *7*.

Установка углов прицеливания производится вращением маховика. При этом будет перемещаться винт *14* и тянуть за собой каретку с пластиной *6*, сдвигая шкалы относительно горизонтальной нити *6* (рис. 16.16) на угол прицеливания.

Механизм боковых упреждений предназначен для ввода углов упреждения, устроен и работает аналогично механизму углов прицеливания, только при этом шкалы перемещаются в боковом направлении относительно вертикальной нити *6* на угол бокового прицеливания.

Механизм выверки по высоте и по направлению предназначен для выверки нулевой линии прицеливания и состоит из следующих основных деталей: гайки *8* (рис. 16.15), винта *10* и каретки *11* с горизонтальной и вертикальной нитями.

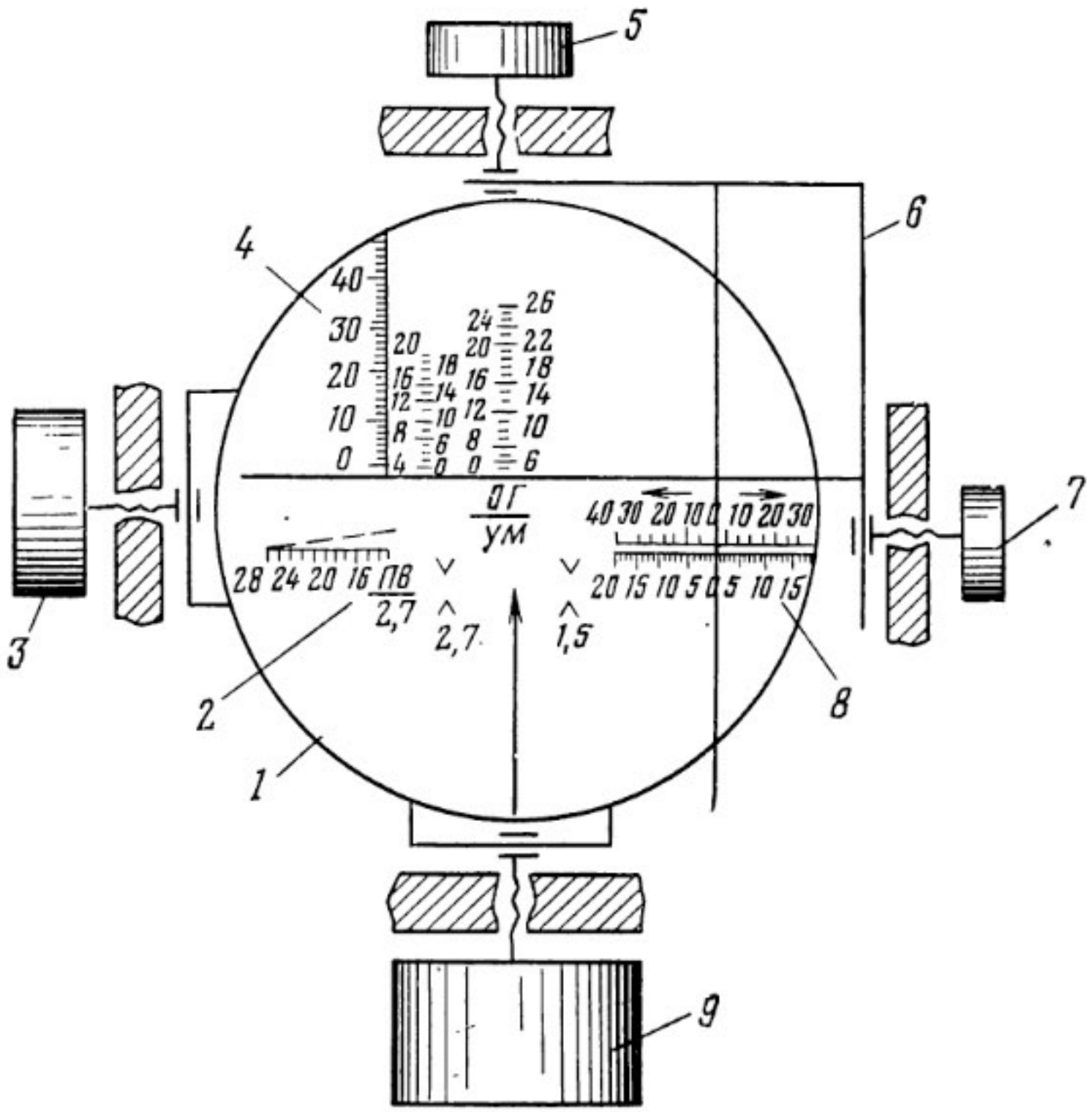


Рис. 16.16. Вид поля зрения и схемы механизмов прицела типа ОП-4:

1 — плоскопараллельная пластинка; *2* — дальномерная шкала; *3* — маховик механизма боковых упреждений; *4* — прицельные шкалы; *5* — механизм выверки по высоте; *6* — горизонтальные и вертикальные нити; *7* — механизм выверки по направлению; *8* — шкалы боковых упреждений; *9* — маховик механизма углов прицеливания

При вращении гайки механизма выверки по высоте перемещается винт с кареткой до тех пор, пока горизонтальная нить совместится с нулями шкал углов прицеливания. При этом предварительно добиваются параллельности оси канала ствола и линии прицеливания путем совмещения прицельного знака с точкой наводки, в которую наведена ось канала ствола, или с перекрестием для оптического прицела на выверочном щите.

Аналогично работает механизм выверки по направлению, только с нулями шкал боковых упреждений совмещают вертикальную нить, закрепленную в каретке.

Для наведения орудия при стрельбе прямой наводкой необходимо установить в прицел угол прицеливания по соответствующей дистанционной шкале в зависимости от дальности до цели и от вы-

бранного снаряда, угол бокового упреждения в зависимости от направления и величины боковой составляющей скорости движения цели. Для этого вращают маховик углов прицеливания и боковых упреждений до совмещения соответствующих углов шкал пластинки с горизонтальной и вертикальной нитями. После этого наводят орудие в цель, вращая маховики механизмов наведения до совмещения прицельного знака с целью.

Наличие в прицеле одного прицельного знака освобождает наиболее ответственный участок поля зрения от дополнительных знаков, чем облегчаются наблюдение и слежение за целью. Недостатком такого способа является необходимость установки боковых углов прицеливания механизмом боковых упреждений.

Прицел типа ОП-2 (рис. 16.14) устроен подобно прицелу ОП-4, но у него отсутствует механизм боковых упреждений и на пластинке нет скоростных, дальномерных шкал и двух пар угольников.

Штрихи и стрелки шкал боковых упреждений служат прицельными знаками.

Средний прицельный знак обозначен вертикальной риской; он используется в тех случаях, когда наводка производится без бокового упреждения. Кроме того, в каретке имеется только одна горизонтальная нить.

Выверка нулевой линии прицеливания производится с помощью механизмов выверки по высоте и направлению. Устройство и работа механизмов выверок аналогичны устройству и работе механизмов выверок оптического прицела ОП-4. Только при работе на механизме выверки по направлению перемещается каретка не с нитью, а с плоскопараллельной пластинкой в боковом направлении.

Перемещение пластинки производят до тех пор, пока центральный прицельный знак установится в вертикальной плоскости, параллельной вертикальной плоскости, в которой находится ось канала ствола. Затем с помощью механизма углов прицеливания совмещают прицельный знак с точкой наводки, в которую предварительно наведена ось канала ствола, или с перекрестием для оптического прицела на выверочном щите, после чего с помощью механизма выверки по высоте совмещают горизонтальную нить с нулями шкал углов прицеливания.

После выверки нулевой линии прицеливания устанавливают углы прицеливания. Установка углов прицеливания прицела ОП-2 производится вращением маховика механизма углов прицеливания. При этом происходит перемещение в вертикальной плоскости каретки с пластинкой относительно горизонтальной нити.

Стволы орудия наводятся механизмами наведения до совмещения прицельного знака с целью.

Оптические визиры применяются в механических прицелах для визирования по цели или точке наводки. Оптические визиры позволяют выполнять прямую наводку при достаточно больших дальностях стрельбы и обеспечивают возможность наводки в условиях плохого освещения цели, а также ночью при искусственном

освещении, кроме того, их применение повышает точность наводки по сравнению с механическими визирами.

Оптические визиры отличаются от оптических прицелов тем, что у них нет устройств для установки прицельных углов и, следовательно, нет механизмов выверок.

Существуют три основных типа оптических визиров: панорамные, телескопические и коллиматорные.

Типичным представителем панорамного оптического визира является панорама (рис. 16.5).

Телескопические визиры имеют оптическую схему, подобную схеме оптического прицела типа ОП, но в ней нет шкал прицеливания.

Работа коллиматорных визиров основана на принципе совмещения бесконечно удаленного перекрестия визира, имитированного коллиматором, с целью.

Преимущество коллиматорного визира перед механическим заключается в том, что прицеливание с помощью этого визира производится по двум точкам: изображению перекрестия сетки коллиматора и цели. Обе эти точки находятся на значительном удалении от глаза, и он их видит без аккомодации, чего нет при использовании механического визира.

§ 16.4. НОЧНЫЕ ПРИЦЕЛЫ

Различные виды излучения представляют собой электромагнитные колебания, свойства, способы получения и действие которых зависят от длины волны. Совокупность всех электромагнитных волн составляет электромагнитный спектр. Этот спектр условно можно разбить на отдельные области, частично перекрывающие друг друга (рис. 16.17).

Наиболее узкий участок спектра (0,4—0,76 мкм) занимают видимые лучи, воспринимаемые человеческим глазом и используемые в оптических прицелах наземной артиллерии. Непосредственно к видимой области со стороны более длинных волн примыкают инфракрасные лучи, а со стороны более коротких волн — ультрафиолетовые лучи.

Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи невидимы для невооруженного глаза, но обладают такими же свойствами, как и видимые лучи, т. е. распространяются прямолинейно, преломляются и отражаются. Это позволяет использовать их для получения невидимого изображения объектов с помощью оптических систем, состоящих из линз и зеркал. Невидимое изображение в дальнейшем преобразовывается в видимое, благодаря чему обеспечивается возможность наблюдения в темноте и создания ночного прицела.

Рассмотрим, какие из невидимых лучей более рациональны для ночных прицелов.

Как известно, тела излучают и поглощают лучистую энергию не непрерывно, а порциями — квантами. Энергия кванта пропорциональна частоте колебаний лучистого потока. Отсюда следует,

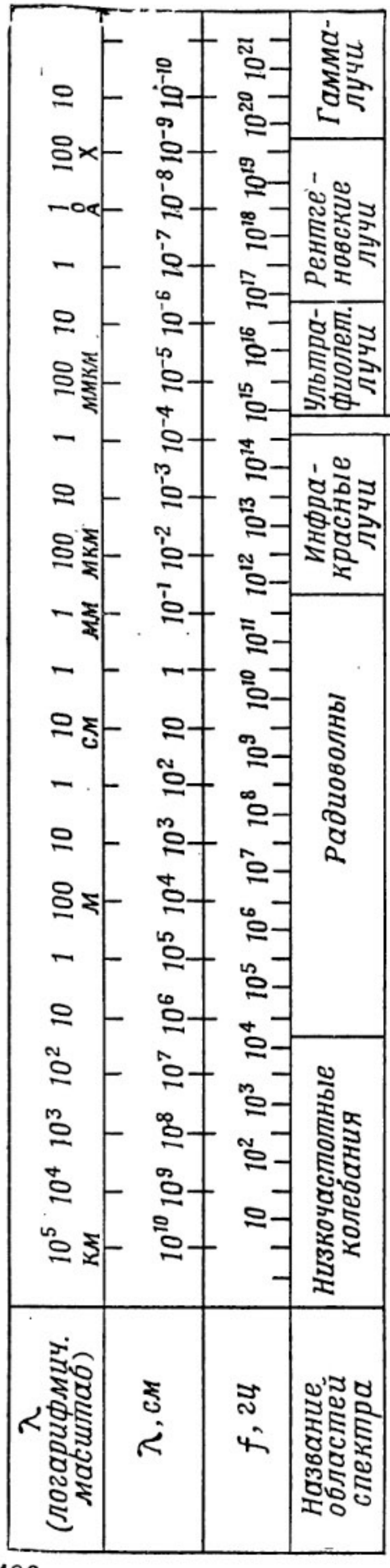


Рис. 16.17. Шкалы спектра электромагнитных волн

что энергия кванта различна для различных участков спектра; при этом энергия квантов ультрафиолетовых лучей в 10^2—10^5 раз больше, чем инфракрасных. Это является положительным качеством ультрафиолетовых лучей, применение которых не потребовало бы значительной энергии дополнительного источника для преобразования невидимого изображения в видимое.

Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи, распространяясь в атмосфере, встречают на своем пути находящиеся в ней взвешенные частицы и частично отражаются от них, а частично поглощаются ими. В результате этого лучи рассеиваются по разным направлениям и ослабляются, теряя часть своей энергии (которая переходит в тепловую).

Исследования показывают, что энергию распространяющихся лучей наиболее сильно ослабляют частицы, размеры которых соизмеримы с длиной волны лучей. Находящиеся в воздухе взвешенные частицы вызывают помутнение атмосферы, причем частицы с диаметром порядка 0,5 мкм образуют дымку, а скопление частиц с диаметром до 50 мкм образует туманы. Хотя степень ослабления зависит от длины волны, даже наиболее коротковолновые инфракрасные лучи с длинами волн 1,5—1,6 мкм лучше распространяются в атмосфере, чем видимые и тем более ультрафиолетовые лучи, про-

ходя дымку и легкие туманы. Благодаря этому обеспечивается выигрыш в дальности наблюдения примерно в два — четыре раза по сравнению с наблюдением в видимых лучах. Это предопределило выбор для ночных прицелов инфракрасных лучей, а в последнее время и некоторых лучей видимой части спектра (красных, оранжевых, желтых).

Применению инфракрасных лучей в ночных прицелах способствует также большое процентное содержание их в общей энергии излучения тел. И хотя по мере понижения температуры тела интенсивность излучения быстро уменьшается, содержание инфракрасных лучей в общем излучении увеличивается. Это позволяет использовать для подсветки целей такие технически простые и малогабаритные генераторы инфракрасных излучений, как лампы накаливания.

Достаточно интенсивными источниками инфракрасных лучей являются такие низкотемпературные излучатели, как выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания и реактивных двигателей, пламя выстрелов и разрывов и т. п., что позволяет использовать ночные прицелы для обнаружения целей по их собственному инфракрасному излучению.

Колоссальным естественным источником лучистой энергии является Солнце. Примерно 70% суммарной энергии его излучения приходится на долю инфракрасных лучей. Естественными источниками являются также звезды и ночное небо. Освещение предметов естественными источниками инфракрасных лучей позволило создать бесподсветные ночные прицелы.

Ночной прицел в отличие от дневного оптического прицела должен иметь устройство для преобразования невидимых для невооруженного глаза инфракрасных лучей в лучи видимой области спектра. Этот сложный процесс происходит в специальном устройстве, называемом электронно-оптическим преобразователем.

Электронно-оптический преобразователь (рис. 16.18) представляет собой стеклянную вакуумную электронно-лучевую трубку *1* цилиндрической формы. На передней торцевой поверхности трубки (обращенной в сторону объектива) нанесен светочувствительный слой *2*, называемый фотокатодом; на задней поверхности нанесен слой светящегося вещества *4*, представляющий собой люминесцирующий экран, а внутри расположена фокусирующая система *3*.

Фотокатод предназначен для преобразования энергии инфракрасных лучей в пропорциональную ей энергию движущихся электронов.

Фотокатод работает на принципе внешнего фотоэлектрического эффекта, сущность которого заключается в следующем.

Внешние электроны атомов металлов слабо связаны с ядром и под действием даже слабых внешних влияний (например, повышения температуры) свободно и хаотически перемещаются от одного атома к другому, имея различные скорости и, следовательно, различные значения кинетической энергии. Этой кинетической

энергии недостаточно для того, чтобы электроны могли выйти из металла. Для преодоления тормозящих сил, расположенных внутри металла у поверхности отрицательных зарядов, и сил электрического притяжения, расположенного снаружи избытка положительного заряда, «свободным» электронам необходимо придать

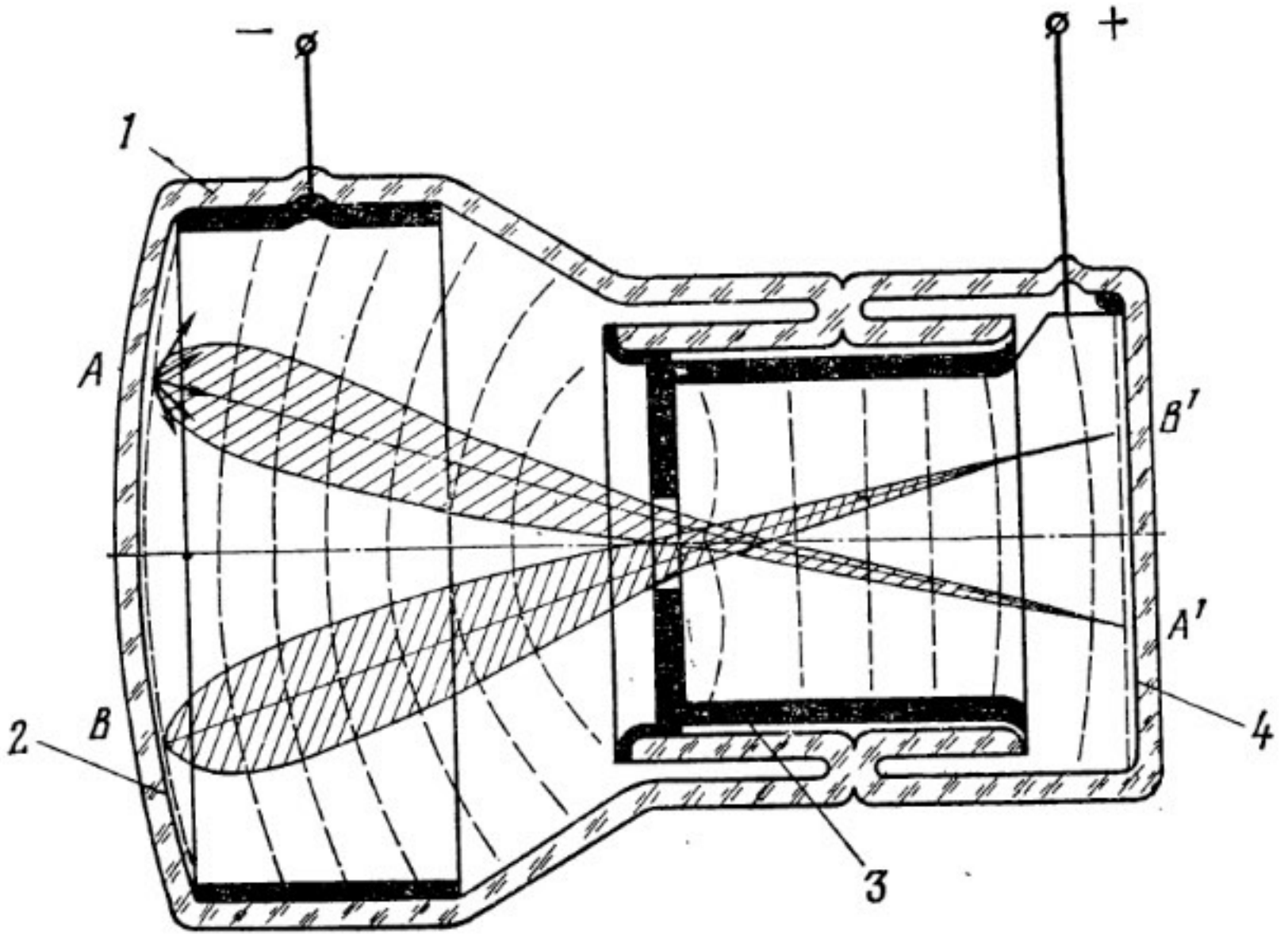


Рис. 16.18. Электронно-оптический преобразователь:
1 — стеклянная трубка; *2* — фотокатод; *3* — фокусирующая система; *4* — экран

дополнительную энергию. Эта энергия называется работой выхода электронов W_0.

При облучении металла лучистым потоком электроны будут поглощать лучистую энергию. Если при этом работа выхода электрона будет меньше энергии кванта лучистого потока, то такой электрон может вылететь из металла. Оказывается, для каждого металла существует некоторая минимальная частота колебаний лучистого потока ν_0, при которой еще возможен вылет электронов. Эта частота называется граничной, а соответствующая ей длина волны λ_0 — красной границей фотоэффекта.

Значения работы выхода и красной границы для некоторых веществ приведены в табл. 16.2.

Если один и тот же металл облучать лучами различной длины волны, то кинетическая энергия электронов будет тем больше, чем больше частота падающих на металл лучей. При увеличении интенсивности лучистого потока, вызывающего выход электронов из металла, растет только количество вылетающих электронов. Явление вырывания электронов из металлов во внешнюю среду под действием света называется внешним фотоэффектом.

Таблица 16.2

Параметр	Никель	Серебро	Натрий	Калий	Цезий	Окисленное серебро, цезий	Окисленная сурьма, цезий
λ_0 мкм	0,25	0,27	0,5	0,55	0,66	1,35—1,5	0,7—0,75
W_0 эВ	5,01	4,54	2,3	2,25	1,46—1,37	0,7—0,9	1,27—1,22

Из табл. 16.2 следует, что у металлов с большой работой выхода (никель, серебро, медь, железо, цинк и др.) внешний фотоэффект вызывается только ультрафиолетовыми лучами с длиной волны менее 0,27 мкм. Фотокатод из щелочных металлов (калий, натрий) чувствителен уже к желто-зеленым лучам спектра видимого света, а фотокатод из цезия чувствителен к оранжевым лучам. Некоторые специально обработанные металлы имеют небольшую работу выхода, поэтому фотоэффект происходит у них даже под действием инфракрасных лучей ближней области.

В настоящее время в ночных прицелах, работающих без подсветки целей прожектором, используются многощелочные и сурьмяно-цезиевые фотокатоды.

Фотокатод представляет собой полупрозрачный светочувствительный слой сложной структуры, который наносится на внутреннюю стенку стеклянного баллона и подключается к отрицательному полюсу источника питания. Фотокатод работает на просвет, т. е. падающие на него лучи проходят через стекло и вызывают фотоэлектронную эмиссию (выбивают электроны) с внутренней, обращенной к экрану поверхности фотокатода. Толщина полупрозрачного фотокатода составляет всего несколько сотен молекулярных слоев.

Следует иметь в виду, что облучение фотокатода коротковолновыми видимыми и особенно ультрафиолетовыми излучениями может привести к уменьшению чувствительности фотокатода и даже к выходу его из строя. Для предохранения фотокатода от видимых и ультрафиолетовых лучей перед ним необходимо помещать специальный фильтр и принимать дополнительные меры по его защите.

Экран служит для преобразования энергии движущихся электронов в энергию видимых лучей и получения видимого изображения наблюдаемых объектов. Он представляет собой слой люминофора, нанесенный на стеклянное основание задней стенки корпуса электронно-оптического преобразователя.

Люминофоры — это вещества, обладающие свойством люминесценции, т. е. излучающие свет в холодном состоянии, не поглощая тепло, под воздействием подводимой к ним энергии в той или иной форме.

Для экранов преобразователей применяют люминофоры временного действия, работающие на принципе катодолюминесцен-

ции. Причиной свечения катодолюминофора является возбуждение атомов его ярко выраженной кристаллической решетки электронами, падающими на его поверхность с определенной кинетической энергией, которые при возвращении в нормальное состояние отдают энергию в виде свечения. Величина этой энергии зависит от начальной скорости электрона, вылетевшего с поверхности фотокатода, и разности потенциалов, которую проходит электрон до соударения с люминофором. По окончании возбуждения свечение люминофора прекращается, что и обусловливает его название люминофора временного действия.

Цвет и в значительной степени яркость свечения экрана зависят от состава катодолюминофора. Максимум спектральной чувствительности люминофора соответствует максимуму спектральной чувствительности глаза, который лежит в области зеленых лучей. Этим объясняется зеленый цвет свечения экрана. Яркость свечения зависит также от плотности электронного тока (числа электронов, падающих на экран в единицу времени) и скорости движения электронов в преобразователе. Повышение яркости за счет повышения плотности тока возможно до насыщения экрана, после чего избыток энергии электронов расходуется на вредный нагрев люминофора. Для отвода излишних электронов со слоя люминофора в современных преобразователях на его поверхность со стороны фотокатода наносят тонкий слой металла, например алюминия. Металлизация люминофора позволяет повысить яркость свечения, увеличивает стойкость люминофора и защищает фотокатод от засветки со стороны экрана.

Разрешающая способность экрана, а следовательно, и самого ночного прицела зависит от зернистости экрана. Последняя определяется структурой люминофора и технологией изготовления экрана. Разрешающая способность современных преобразователей составляет 25—40 штрихов на 1 мм изображения, при этом диаметр зерен люминофора не превышает нескольких микрон.

Фокусирующая система улучшает качество изображения на экране и повышает разрешающую способность ночного прицела. Достигается это следующим образом.

Под действием инфракрасных лучей с площади фотокатода эмитируются широкие пучки электронов, проходящие под различными углами к оси симметрии преобразователя. Благодаря очень высокой разности потенциалов, приложенной между фотокатодом и экраном, электроны устремляются по направлению к экрану. В процессе движения электроны пучка дополнительно рассеиваются и создают нерезкое изображение на экране. Для устранения этого недостатка необходимо фокусировать электронные пучки.

Направление движения электронных пучков определяется характером изменения напряженности электрического поля или в конечном счете величиной приложенной разности потенциалов и конструкцией электродов электронной фокусирующей системы,

формирующей электрическое поле. Для построения электрической электронно-оптической системы, действующей на электроны аналогично действию оптической системы на световые лучи, необходимо, чтобы разность потенциалов в этой системе изменялась так же, как показатель преломления в оптической системе. Создать такую систему не представляет особого труда.

В преобразователях с электростатической фокусировкой, находящих в настоящее время наиболее широкое применение, для воздействия на пучки электронов и получения высококачественного электронно-оптического изображения применяются такие фокусирующие системы, электроды которых размещаются за пределами хода электронных лучей. На пути последних находится лишь созданное ими электростатическое поле с непрерывным и плавным изменением потенциала и напряженности. Электроды в сложных системах устанавливаются между фотокатодом и экраном так, что потенциал электродов равен потенциалу экрана или имеет промежуточное значение между потенциалами фотокатода и экрана. Электростатические поля делаются симметричными относительно оптической оси преобразователя, для чего формирующие их электроды берутся в виде тел вращения, например в виде круглых диафрагм, цилиндров, усеченных конусов и т. п. Эти поля сохраняют в процессе работы преобразователя постоянное, заранее отрегулированное значение, причем стабильность их параметров является необходимым условием для получения на экране изображения высокого качества.

В современных электронно-оптических преобразователях фокусирующая система наряду с фокусировкой электронных пучков оборачивает изображение на экране $A'B'$ по сравнению с положением изображения на фотокатоде AB. Благодаря этому в оптической схеме ночного прицела не применяют дополнительных оборачивающих систем.

Электронно-оптический преобразователь в целом можно рассматривать как электронную линзу, которая преобразует невидимое изображение в видимое и оборачивает его.

Местность и находящиеся на ней предметы даже в самую темную ночь освещаются слабым рассеянным светом Солнца и звезд. Однако отраженные от них и падающие в глаза лучи настолько слабы, что в обычных условиях мы не в состоянии видеть их.

Для наблюдения за полем боя, отыскания и изучения целей, ведения огня прямой наводкой в темное время суток и созданы ночные прицелы.

Принципиальная схема ночного прицела (рис. 16.19) состоит из собственно электронно-оптического прицела (визира) *11* и низковольтного *1* и высоковольтного *2* источников питания. При необходимости подсветки целей инфракрасными лучами в качестве искусственного источника излучения может быть использован инфракрасный прожектор.

Основными конструктивными элементами электронно-оптического прицела являются корпус с элементами крепления прицела на орудии, телескопическая оптическая система, состоящая из объектива и окуляра, электронно-оптический преобразователь, коллимационная система для ввода изображения сетки в поле зрения прицела, механизмы углов прицеливания и выверки прицела по дальности и направлению стрельбы, механизмы защиты элек-

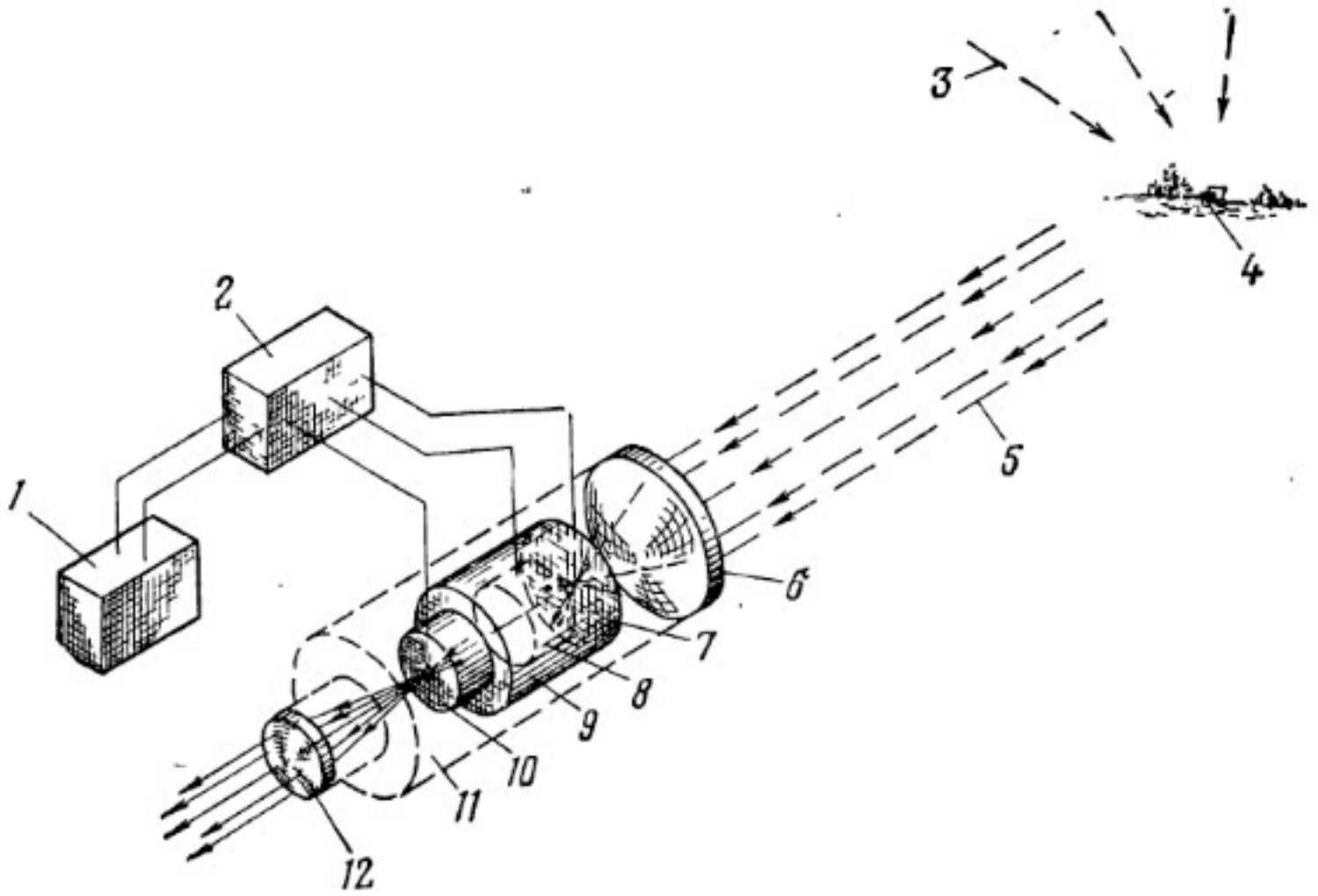


Рис. 16.19. Принципиальная схема ночного прицела:

1 — первичный (низковольтный) источник постоянного тока; *2* — высоковольтный преобразователь; *3* — лучи подсветки целей; *4* — цель; *5* — невидимые лучи, отраженные от цели или излучаемые целью; *6* — объектив; *7* — фотокатод; *8* — фокусирующая система; *9* — электронно-оптический преобразователь; *10* — экран; *11* — электронно-оптический прицел (визир); *12* — окуляр

тронно-оптического преобразователя от засветки пламенем собственного выстрела, трассера снаряда и посторонним источником света, а также различные вспомогательные элементы.

Первичным источником постоянного тока низкого напряжения *1*, используемого для питания прицела, служат аккумуляторные батареи. Первичное напряжение подается на вход высоковольтного источника *2*, который преобразовывает его в высокое напряжение постоянного тока, создающее необходимую разность потенциалов на электродах электронно-оптического преобразователя, достигающую 18 кВ и более.

Работа электронно-оптического прицела заключается в следующем. Лучи *5* от объектов наблюдения *4* попадают на объектив *6* прибора, в результате чего на поверхности фотокатода *7* создается действительное, уменьшенное, перевернутое и невидимое для невооруженного глаза изображение этих объектов.

С участков поверхности фотокатода, на которые упали невидимые глазу лучи, выбиваются электроны. Поверхностная плотность электронного потока, т. е. количество электронов, выбиваемых с единицы площади изображения в единицу времени, пропорцио-

нальна распределению интенсивности падающего на фотокатод пучка лучей.

Под действием приложенной разности потенциалов электроны устремляются через отверстия в электродах фокусирующей системы *8* к экрану *10*. При движении от фотокатода к экрану пучки электронов сохраняют распределение интенсивности в поперечном сечении, тем самым как бы перенося «электронное изображение» на экран, одновременно оборачивая его.

Под действием высокой разности потенциалов между фотокатодом и экраном электроны приобретают большую кинетическую энергию и, ударяя в экран, создают на нем яркое изображение наблюдаемого объекта. При этом распределение яркости свечения по площади экрана пропорционально распределению электронов в поперечном сечении электронного пучка, что обеспечивает получение на экране видимого изображения, подобного по форме и распределению яркости картине, созданной объективом на фотокатоде.

Изображение, полученное на экране, рассматривается в увеличенном виде с помощью окуляра *12*. Особенностью изображения является его одноцветность, а также отличие яркостного контраста от реальной картины. Эта особенность может быть использована для демаскировки целей, но требует специальной тренировки наблюдателей.

Увеличение яркости изображения на экране позволяет наблюдать объекты при значительно меньших потоках лучистой энергии, падающей на фотокатод, и тем самым увеличивает дальность видимости ночных прицелов. Эффективным способом увеличения яркости изображения является последовательное каскадное соединение электронно-оптических преобразователей. Перспективным является применение многокамерных преобразователей с контактным соединением экрана предыдущей камеры с фотокатодом последующей путем нанесения их по обе стороны тонкой прозрачной пластинки. Это позволяет уменьшить потери световой энергии. При этом в первой камере устанавливают многощелочной фотокатод, а в последующих — сурьмяно-цезиевые. Эмиссия электронов с последующего фотокатода более интенсивна, чем с предыдущего, поэтому свечение экрана каждой последующей камеры будет более ярким. Для получения прямого изображения объектов преобразователь должен иметь нечетное число камер, что влечет за собой увеличение длины преобразователя, а значит, габаритов и веса всего прицела.

Механизм углов прицеливания позволяет устанавливать угол прицеливания в соответствии с дальностью прямого выстрела. При этом сетка с нанесенными на ней дистанционными шкалами проектируется в поле зрения прицела либо располагается в поле зрения прицела и с помощью маховичка углов прицеливания может перемещаться в вертикальной плоскости. Простейший прицельный знак обычно наносится на экране преобразователя и перемещается путем покачивания самого преобразователя.

Механизмы выверки прицела по дальности и направлению служат для проверки нулевой линии прицеливания и по устройству и действию аналогичны подобным механизмам оптических прицелов прямой наводки.

Механизмы защиты фотокатода электронно-оптического преобразователя имеют разнообразную конструкцию и принцип действия и предохраняют фотокатод от попадания на него мощного светового потока.

§ 16.5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИЦЕЛОВ

Для обеспечения длительной и безотказной работы прицелов, поддержания их в постоянной боевой готовности необходимо, чтобы личный состав орудийных расчетов твердо знал устройство и основные правила эксплуатации прицелов, строго соблюдал требования руководств службы и инструкций по эксплуатации, своевременно и правильно обеспечивал хранение и сбережение прицелов и уход за ними, с высоким качеством выполнял технические обслуживания.

Оптические и электронно-оптические прицелы, панорамы и коллиматоры необходимо закреплять за определенными орудиями. Это обеспечит повышение точности стрельбы и исключит обезличку в ответственности должностных лиц за подготовку прицелов к стрельбе, их хранение, сбережение и уход за ними. Кроме того, необходимо учитывать, что для повышения точности наводки коллиматоры и панорамы ПГ-1М (ПГ-1) попарно комплектуются, поэтому их нельзя перемешивать в батарее (взводе).

Прицелы необходимо содержать в чистоте и защищать их от воздействия влаги и пыли. После дождей (снегопада) или перевозки орудия по пыльной дороге при первой же возможности надо тщательно протереть чистой, сухой ветошью металлические части прицелов, удалить кисточкой или сдуванием песчинки с наружных оптических деталей, а затем протереть их чистой фланелью или полотняной ветошью. Протирать стекла фланелью следует круговыми движениями от центра к краям. После этого произвести чистку и просушку чехлов, футляров и укладочных ящиков.

При подготовке орудий со съемными прицелами к маршу прицелы должны сниматься и укладываться в специальные ящики. Это исключает их расстройство. У механических прицелов типа С-71 (Д-726) механизм углов прицеливания следует перевести в походное положение опусканием основания корзинки панорамы до упора в выступ на корпусе прицела. Это исключает вредное влияние динамических нагрузок на механизм углов прицеливания, появление износа деталей механизма и, следовательно, возможного увеличения мертвых ходов. На прицелах устанавливаются нулевые установки. Механические прицелы других типов также устанавливаются в походное положение, надежно закрепляются, ампулы уровней закрываются крышками. Панорама и прибор освещения «Луч» с прицелов снимаются. При установке прибора «Луч» на

место его крепления по-походному следует убедиться, что крышка ящика находится сверху, так как в противном случае из аккумуляторов может вытечь электролит. На малых и больших привалах и остановках надо проверить надежность крепления прицелов, панорамы, прибора «Луч» и укрытия прицелов чехлами.

При подготовке прицелов (прицельных устройств) к ведению огня следует очистить их от пыли и излишней смазки, осмотреть наружные детали и убедиться в легкости и плавности работы механизмов, надежности крепления колец, гаек и шплинтов. Вставить панораму в корзинку прицела и надежно закрепить ее нажимным винтом. Выгнать пузырьки поперечного и продольного уровней на середину. Убедиться, что на прицелах и панораме установлены нулевые установки, т. е. на угломере панорамы 30-00, на отражателе 0-00, на механизме углов прицеливания 0, на механизме углов места цели 30-00. Подготовить для работы в ночное время прибор для освещения «Луч». Произвести частичную или полную проверку прицельных приспособлений.

При ведении огня из орудий в процессе установки скомандованных прицельных углов необходимо соблюдать однообразие вращения маховичков механизмов прицела и панорамы, что позволит исключить вредное влияние мертвых ходов на наводку орудия, и однообразие в выведении пузырьков уровней на середину. Для повышения точности наводки при выведении пузырьков уровней на середину их край следует подводить всегда к одной из средних рисок ампулы. При действии маховичками прицела не следует прилагать большие усилия. Если на прицеле установлена панорама, у которой имеется шкала боковых поправок, то с точкой прицеливания должна совмещаться вершина центрального угольника, а при стрельбе по движущейся цели — штрих шкалы боковых поправок, отвечающий величине боковой поправки. При ведении огня с использованием корректора наклон оси цапф орудия не должен превышать ±1°30′. В перерывах между стрельбами наружные оптические детали оптических и электронно-оптических прицелов, панорамы и коллиматора целесообразно протирать сухой фланелевой салфеткой от середины к краям оптических стекол, предохранять их от запыления и увлажнения, закрывая чехлами. Необходимо правильно организовывать хранение и сбережение прицелов и уход за ними. Помещения для хранения оптических и электронно-оптических прицелов, панорам и коллиматоров должны быть чистыми, сухими и отапливаемыми в зимнее время. В них не должны находиться аккумуляторы, кислоты, соли, смазки и фотохимикаты. В помещении должна поддерживаться постоянная температура не ниже +8° С. Резкие колебания температуры недопустимы. Панорамы, коллиматоры, оптические и электронно-оптические прицелы в подразделениях должны храниться в шкафах. Данные шкафы устанавливать не ближе 0,5 м от наружных стен и не ближе 1,5 м от систем отопления.

Если оптические и электронно-оптические прицелы, панорамы и коллиматоры выносятся из теплого помещения в холодное время

года, то их нельзя сразу вынимать из укладочных ящиков. При внесении их с мороза в теплое помещение необходимо примерно через 2 ч укладочные ящики вскрыть, оптические и электронно-оптические прицелы, панорамы и коллиматоры протереть и снова уложить в укладочные ящики. При нахождении войск в лагере шкафы (ящики) должны быть укрыты от атмосферных осадков.

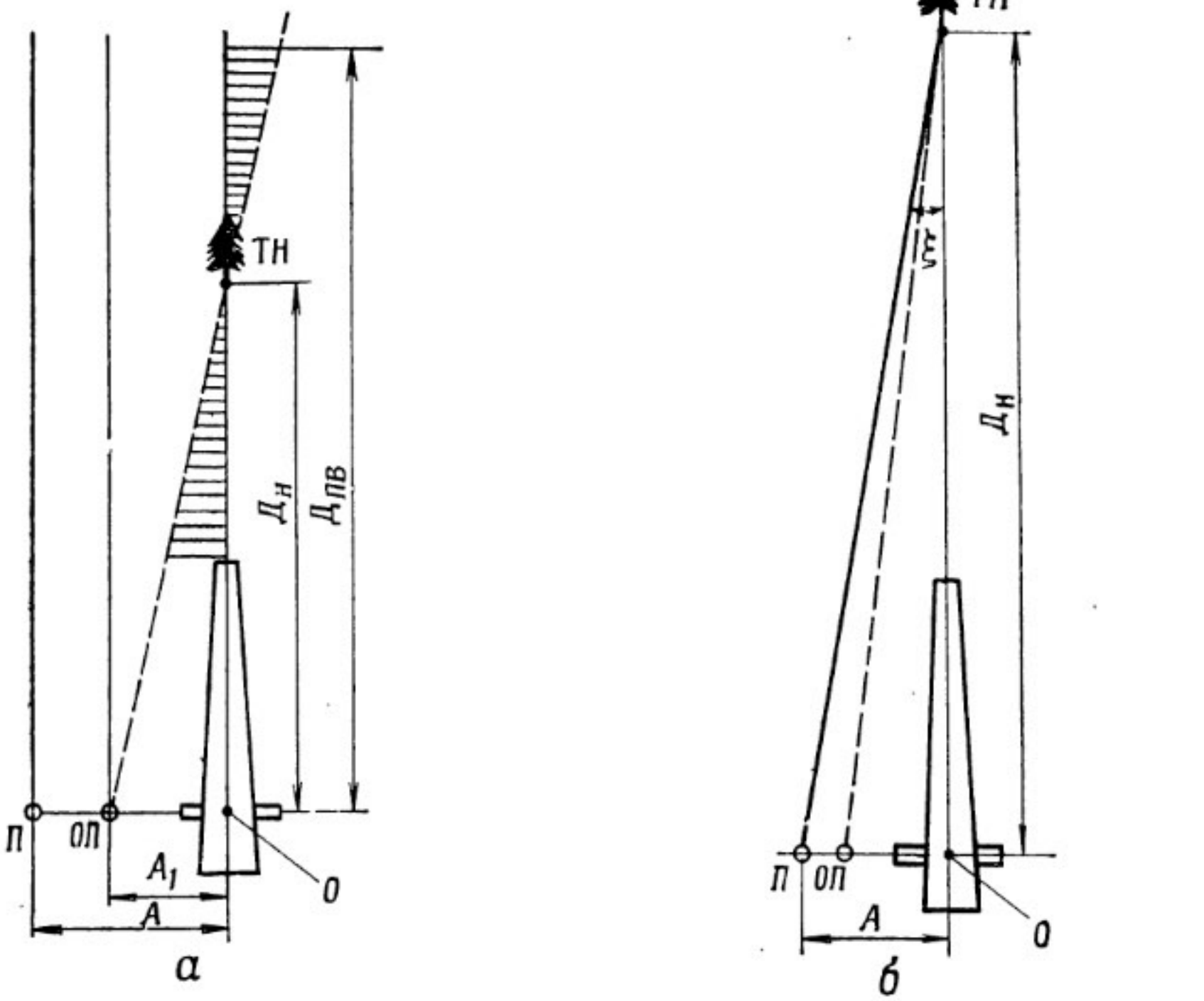


Рис. 16.20. Схема к обоснованию выбора удаленной точки наводки при проверке нулевой линии прицеливания:
П — панорама механического прицела; *А* — смещение панорамы прицела *П* в боковом направлении относительно оси канала ствола *О*; A_1 — смещение оптического прицела ОП в боковом направлении относительно оси канала ствола; $Д_н$ — дальность до точки наводки; $Д_{пв}$ — дальность прямого выстрела; *ТН* — точка наводки; ξ — угол параллакса между осью канала ствола и нулевой линией прицеливания панорамы

Для поддержания прицелов в исправном состоянии их осмотры и технические обслуживания должны производиться своевременно и с высоким качеством.

У подготовленного к стрельбе орудия линия прицеливания панорамы должна быть параллельна оси канала ствола. Линия прицеливания оптического и электронно-оптического прицелов, предназначенных только для стрельбы прямой наводкой, может быть параллельной оси канала ствола или пересекаться с ней в точке, находящейся на удалении, равном примерно $^2/_3$ дальности прямого выстрела (рис. 16.20). Если при проверке и регулировке прицелов

устанавливают линию прицеливания параллельно оси канала ствола, то при стрельбе прямой наводкой вводят поправки на смещение прицела относительно оси канала ствола орудия; если же линию прицеливания устанавливают пересекающейся с осью канала ствола, то такие поправки не вводят. Выбор точки наводки на удалении $\sim^2/_3$ дальности прямого выстрела от орудия обеспечивает наименьшие отклонения центра группирования пробоин относительно точки прицеливания при стрельбе в пределах дальности прямого выстрела.

При проверке нулевой линии прицеливания по удаленной точке наводки необходимо поставить панораму в корзинку прицела и закрепить ее нажимным винтом, установить на орудие оптический прицел, натянуть на дульном срезе ствола по рискам нити, вынуть из затвора ударный механизм. Визируя через отверстие для выхода бойка ударника и центр перекрестия из нитей на дульном срезе, навести ствол орудия в точку наводки (рис. 16.20, *б*).

Установить механический прицел вертикально по поперечному уровню, на шкалах механизмов прицелов установить нулевые установки, на панораме — 30-00. Вращая маховички угломера и отражателя панорамы, совместить вершину центрального угольника сетки панорамы с точкой наводки. При этом на шкалах угломера панорамы должна быть установка 30-00, на шкалах отражателя — 0-00. Если на шкалах угломера и отражателя получаются другие значения, превышающие половину деления угломера, то необходимо повернуть кольцо угломера и отражателя так, чтобы их нулевые деления стали против рисок указателей. После этого проверить визирное приспособление панорамы. Выбранная точка наводки должна быть видна между проволоками визирной коробки.

Маховичками механизмов прицеливания и упреждений оптического прицела совместить вершину прицельного знака сетки прицела с точкой наводки. При этом горизонтальная нить должна быть совмещена с нулевыми делениями дистанционных шкал, а вертикальная нить — с нулевыми делениями шкал боковых поправок. При обнаружении отклонений этих линий относительно нулевых делений шкал производятся их регулировка и установка на нулевые деления шкал с помощью механизмов выверки.

При проведении этой проверки, исходя из точности угломерных шкал панорамы и оптических прицелов, считают, что линия прицеливания панорамы (оптического прицела) будет практически параллельна оси канала ствола орудия, если угол параллакса между ними будет не более половины малого деления угломера (0-00,5).

Обозначим величину смещения панорамы прицела $П$ в боковом направлении относительно оси канала ствола $О$ через $А$ (рис. 16.20), расстояние до точки наводки $ТН$ через $Д_н$, допустимый угол параллакса между нулевой линией прицеливания панорамы и осью канала ствола орудия через ξ.

Из треугольника *ОТНП* получим

$$\operatorname{tg}\xi = \frac{A}{Д_н}. \qquad (16.4)$$

Так как допустимым углом параллакса между нулевой линией прицеливания и осью канала ствола принят угол $\xi = 0{,}5$ д. у., то вследствие малого значения этого угла тангенс угла ξ может быть принят равным значению этого угла, т. е.

$$\operatorname{tg}\xi = \xi. \qquad (16.5)$$

Следовательно,

$$\xi = \frac{A}{Д_н}. \qquad (16.6)$$

Из формулы (16.6) получим, что наименьшее расстояние до точки наводки должно быть равно

$$Д_н = 2A, \qquad (16.7)$$

где $Д_н$ выражается в метрах, а A — в миллиметрах.

Величина боковых смещений прицелов современных орудий наземной артиллерии колеблется в пределах от 270 до 650 мм, а у боевых машин реактивных систем может достигать 1430 мм.

Так, например, для 130-мм пушки М-46 величина A равняется 465 мм для механического прицела С-71 и 645 мм для оптического прицела; для 152-мм пушки-гаубицы Д-20 A равняется 465 мм для механического прицела С-71 и 590 мм для оптического прицела. Допустимое наименьшее удаление точки наводки необходимо определять по величине бокового смещения наиболее удаленного от оси канала ствола прицела. Поэтому допустимые наименьшие удаления точек наводки для различных образцов ствольной артиллерии будут находиться в пределах 1000—1200 м от орудия, а для боевых машин реактивных систем достигать 2900 м.

Если в полевых условиях нет удобно расположенной удаленной точки наводки на местности, а также при проверке прицелов в неясную погоду или ночью положение нулевой линии прицеливания проверяют с помощью специального выверочного щита с нанесенными на нем перекрестиями. Расстояние между перекрестиями на выверочном щите должно соответствовать расстояниям по горизонтали и вертикали между нулевой линией прицеливания прицела и осью канала ствола (базовой направляющей в пакете направляющих). Ширина полос на выверочном щите установлена 10 мм, что согласуется с удалением выверочного щита от орудия при проверке нулевой линии прицеливания (40—50 м). Орудие тщательно горизонтируется в направлении оси цапф. Нулевая линия прицеливания с помощью выверочного щита проверяется в таком же порядке, как и по удаленной точке наводки, только в этом случае нужно совмещать ось канала ствола, вершину центрального угольника сетки панорамы и вершину прицельного знака сетки оптического прицела с соответствующими перекрестиями щита.

Выверочный щит устанавливается в плоскости, перпендикулярной линии визирования, без поперечного наклона. При проверке нулевой линии прицеливания по выверочному щиту в ночных условиях перекрестия щита должны быть освещены. Для этого целесообразно перекрестия на щите делать в виде щелей, вырезанных в самом щите, а источник света располагать с обратной стороны щита, приняв необходимые меры для его маскировки. Разумеется, при ночной проверке прицела следует также освещать шкалы прицелов, прицельный знак и перекрестие на дульном тормозе, соблюдая при этом условия требуемой маскировки.

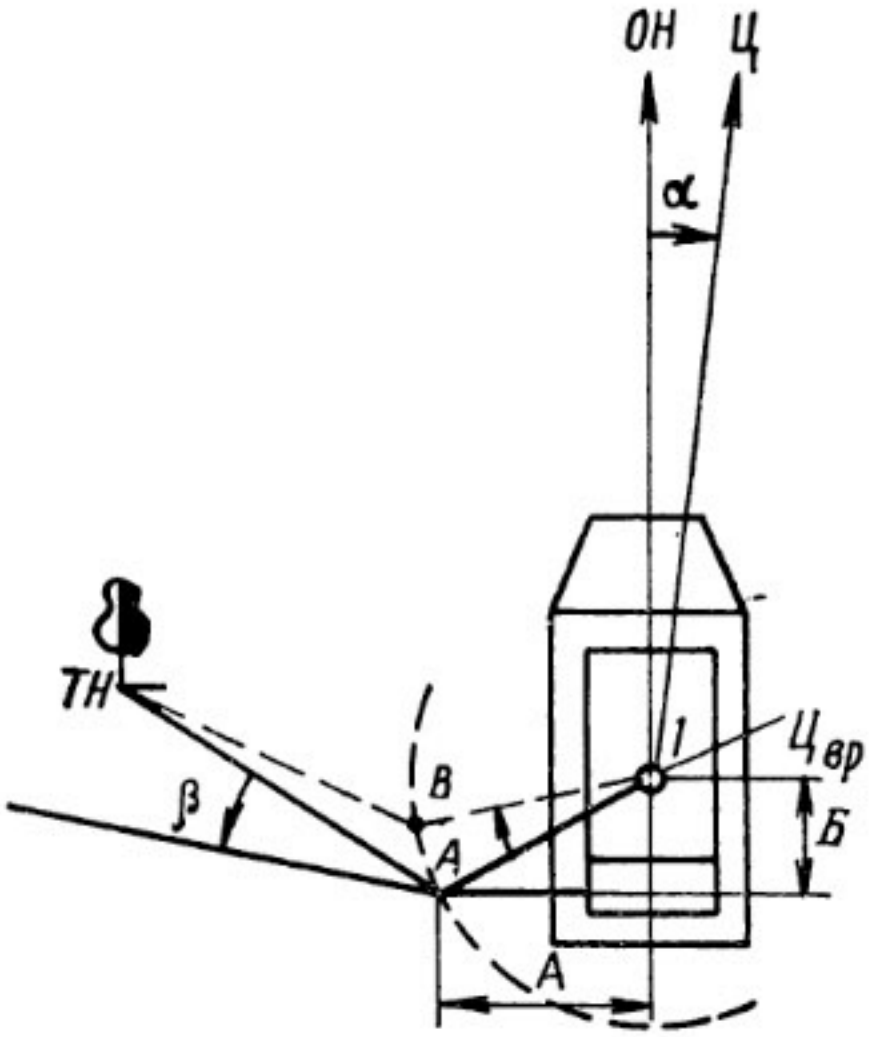


Рис. 16.21. Схема размещения прицела на боевой машине:

$Ц_{вр}$ — центр вращения поворотной части боевой машины; *А*, *Б* — положения панорамы прицела; *ТН* — точка наводки

Удаление точки наводки от орудия при стрельбе должно быть таким, чтобы при наведении орудия обеспечивалась необходимая точность горизонтальной наводки. Точка наводки должна резко выделяться среди окружающих предметов, быть неподвижной и четко видимой. Минимальное удаление точки наводки от орудия определяется из условия, чтобы ошибка горизонтальной наводки не превышала 0,5 д. у. С увеличением удаления ее от орудия возможные значения ошибок горизонтальной наводки уменьшаются, поэтому во всех наставлениях и руководствах службы рекомендуется, чтобы при выборе точки наводки она находилась возможно дальше от орудия. Факторами, обусловливающими появление ошибок при горизонтальной наводке орудий, являются смещение орудия при стрельбе, отклонение панорамы при доворотах относительно исходного положения, которое она занимала при ориентировании орудия в основное направление стрельбы, и конструктивные особенности размещения прицела на орудии.

Опыт эксплуатации орудий показывает, что при стрельбе смещение орудия может достигать 20 см. Отклонения панорамы при доворотах относительно основного направления на 7-50 могут достигать 44—55 см, а для боевых машин реактивных систем — ~140 см.

Конструктивно орудия и боевые машины реактивных систем выполнены так, что панорама имеет некоторое смещение *А*, *Б* относительно оси, вокруг которой происходит поворот вращающейся части орудия (боевой машины) (рис. 16.21). В результате этого при наводке ось канала ствола орудия (пакета направляющих) будет поворачиваться на угол, отличающийся от угла доворота,

установленного на угломерном кольце панорамы. Схема горизонтальной наводки изображена на рис. 16.22. Ошибка в горизонтальной наводке из-за конструктивных особенностей орудия может быть определена по формуле

$$\Delta\beta = \beta - \alpha, \tag{16.8}$$

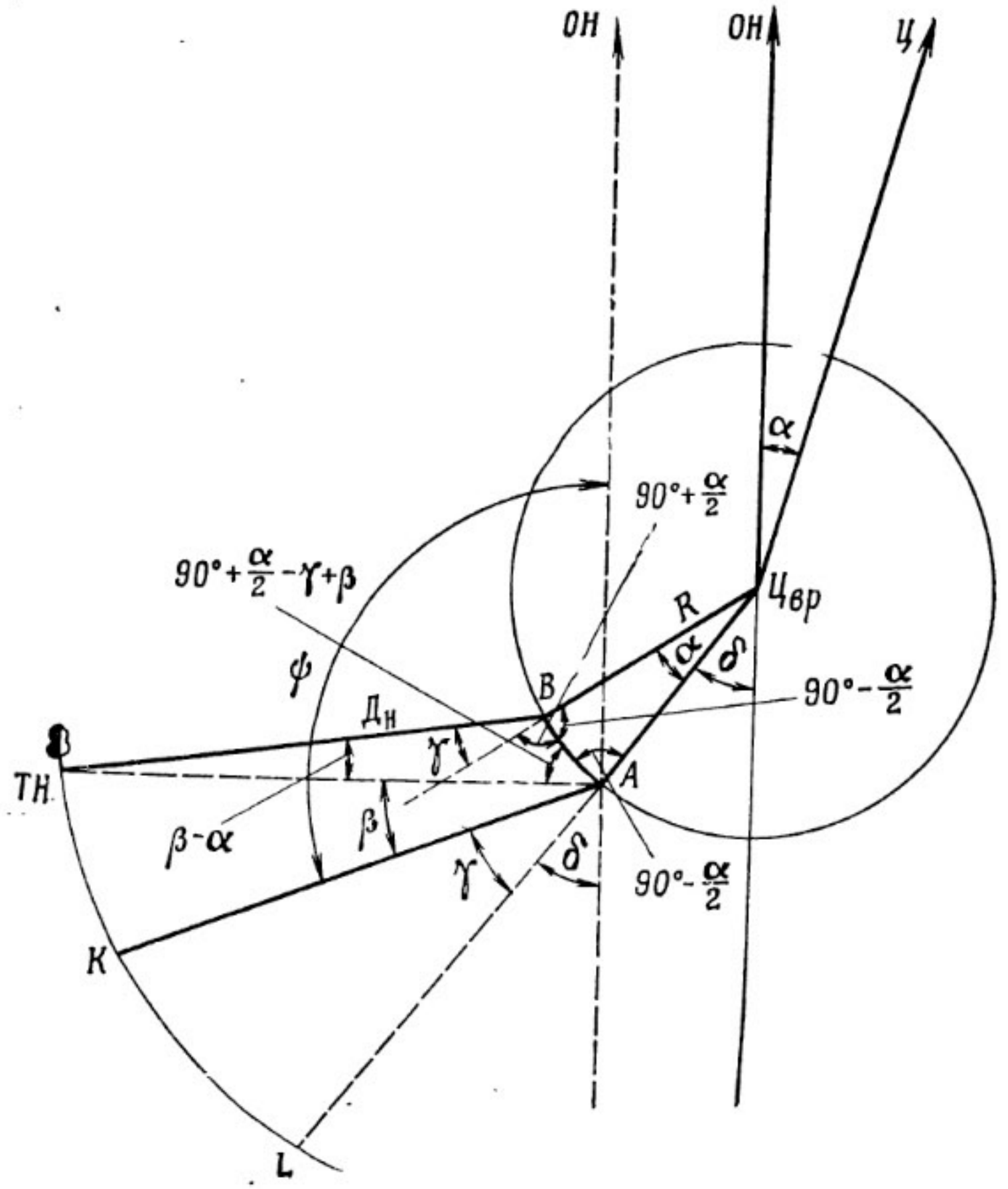


Рис. 16.22. Схема горизонтальной наводки боевой машины

где β — угол доворота, установленный на угломерном кольце панорамы;

α — угол поворота оси канала ствола орудия при выборе угла доворота β с помощью поворотного механизма.

Определим $\Delta\beta$. Из $\triangle ATHB$ (рис. 16.22) имеем

$$\frac{AB}{\sin(\beta - \alpha)} = \frac{ATH}{\sin\left(90° + \frac{\alpha}{2} + \gamma\right)},$$

где γ — угол между продолжением линии $Ц_{вр}$ — панорама и линией панорама — точка наводки.

Ввиду того что ATH незначительно отличается от BTH, примем

$$ATH = BTH = Д_н,$$

где $Д_н$ — удаление точки наводки от орудия, м.

Тогда

$$\frac{AB}{\sin(\beta - \alpha)} = \frac{Д_н}{\cos\left(\gamma + \frac{\alpha}{2}\right)}. \qquad (16.9)$$

Из $\triangle AB Ц_{вр}$ имеем

$$AB = 2R \sin\frac{\alpha}{2}, \qquad (16.10)$$

где R — расстояние от центра вращения поворотной части орудия до панорамы.

Подставляя значения AB из формулы (16.10) в формулу (16.9), получим

$$\frac{2R \sin\frac{\alpha}{2}}{\sin(\beta - \alpha)} = \frac{Д_н}{\cos\left(\gamma + \frac{\alpha}{2}\right)}. \qquad (16.11)$$

После некоторых преобразований будем иметь

$$\frac{R}{Д_н} = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin(\gamma + \alpha) - \sin\gamma}. \qquad (16.12)$$

Примем $\sin(\beta - \alpha) = \beta - \alpha = \Delta\beta$. Это допустимо, так как величины $\beta - \alpha$ малы, порядка нескольких минут. Тогда величину ошибки $\Delta\beta$ можно будет выразить формулой

$$\Delta\beta = \frac{R}{Д_н}[\sin(\gamma + \alpha) - \sin\gamma]. \qquad (16.13)$$

Из рис. 16.22 видно, что

$$\gamma = 180 - \psi - \delta, \qquad (16.14)$$

где ψ — угол между основным направлением (OH) и линией AK (характеризует положения точки наводки);

δ — угол между обратным направлением оси направляющей, наведенной в основное направление, и линией панорама — $Ц_{вр}$ ($AЦ_{вр} = BЦ_{вр} = R$).

Подставим в выражение (16.13) вместо γ ее значение (16.14). Получим

$$\Delta\beta = \frac{R}{Д_н}[\sin(180° - \psi - \delta + \alpha) - \sin(180° - \psi - \delta)]. \qquad (16.15)$$

Из формулы (16.15) видно, что величина ошибки $\Delta\beta$ зависит от дальности до точки наводки, величины угла, характеризующего положение точки наводки относительно основного направления, и угла доворота.

Зависимость ошибок $\Delta\beta$ от удаления точки наводки $Д_н$ и углов поворота пакета направляющих α (для боевых машин реактивных систем) изображена на рис. 16.23. Из графика видно, что величина ошибок значительно возрастает при уменьшении удаления точки

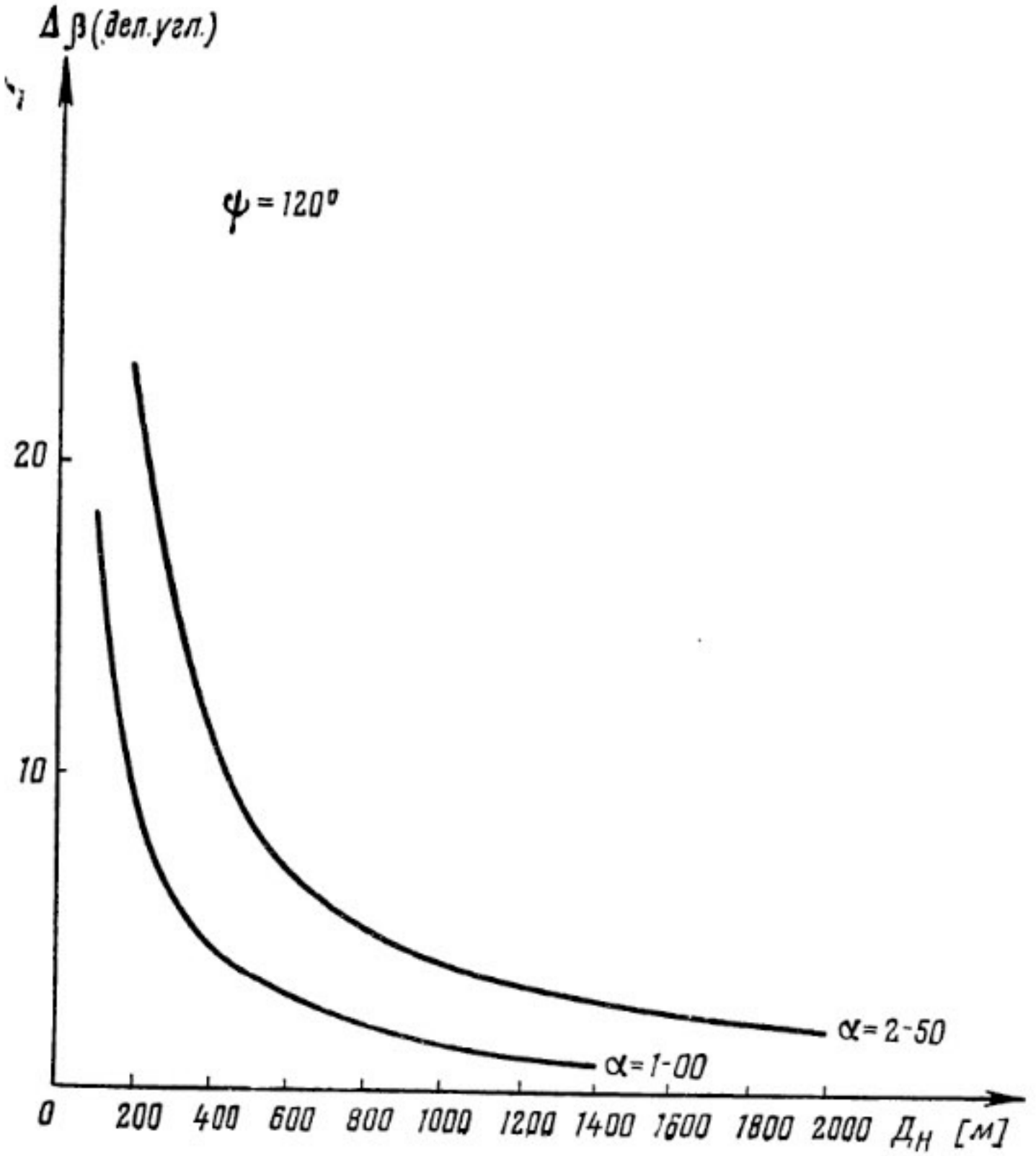


Рис. 16.23. График $\Delta\beta = f(Д_н)$

наводки и при увеличении углов α. Таким образом, для уменьшения ошибок горизонтальной наводки точку наводки следует выбирать по возможности дальше от орудия (боевой машины реактивной системы).

Влияние положения точки наводки относительно основного направления стрельбы на точность горизонтальной наводки можно проследить на графике $\Delta\beta = f(\varphi, Д_н)$ (рис. 16.24). Анализируя график, можно отметить, что величина ошибки $\Delta\beta$ достигает наибольших значений, когда $100° < \varphi < 170°$ и $280° < \varphi < 350°$.

Учитывая это, точку наводки для боевых машин реактивных систем целесообразно выбирать слева впереди, справа сзади или слева от основного направления стрельбы. Величина ошибки в этом случае будет минимальной. Минимально допустимое удаление точки наводки, обусловленное конструктивными особенно-

стями размещения прицела на боевой машине (орудии), определяется из условия, чтобы при максимально возможных доворотах боевой машины (орудия) величина ошибки $\Delta\beta$ была меньше 0,5 д. у.

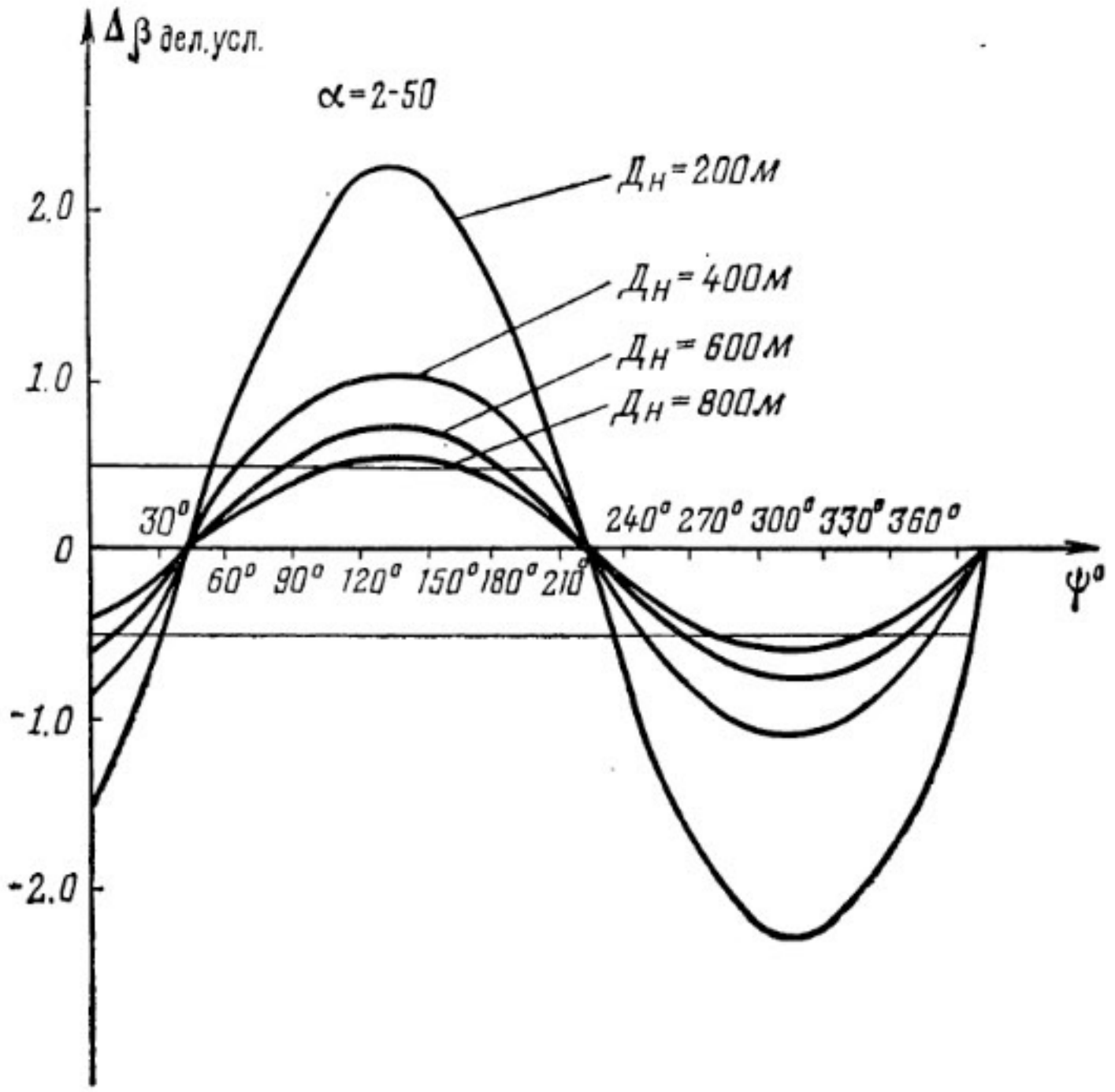


Рис. 16.24. График $\Delta\beta = f(\psi, Д_н)$

Расчеты показывают, что возможные отклонения панорамы при доворотах относительно основного направления стрельбы будут значительно превышать смещения панорамы при стрельбе. Ошибки при горизонтальной наводке из-за возможных отклонений панорамы при доворотах относительно основного направления стрельбы определяются по формуле

$$\Delta\beta = 955 \frac{l}{Д_н},$$

где l — возможное отклонение панорамы при доворотах относительно основного направления стрельбы;

$Д_н$ — дальность до точки наводки.

Таким образом, при определении минимально допустимого удаления точки наводки при стрельбе следует учитывать максимально возможные отклонения панорамы при доворотах относительно основного направления стрельбы и конструктивные особенности размещения прицела на орудии (боевой машине), исходя из условия, чтобы величина ошибки горизонтального наведения не превышала 0,5 д. у.

ГЛАВА 17

САМОХОДНЫЕ АРТИЛЛЕРИЙСКИЕ ОРУДИЯ

§ 17.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Самоходное артиллерийское орудие (САО) представляет собой орудие с самоходным лафетом, которое по сравнению с буксируемым обладает повышенной боевой эффективностью.

Повышение боевой эффективности достигается за счет увеличения подвижности, маневренности и живучести САО на поле боя, а также за счет их постоянной готовности к открытию огня. Кроме того, большинство конструкций САО позволяет вести боевые действия (стрельбу) на зараженной местности и самостоятельно преодолевать водные преграды. Применение САО уменьшает численность и уязвимость расчета от огня противника.

Вместе с тем САО по сравнению с буксируемыми имеют следующие недостатки:

— сложнее и дороже в производстве и эксплуатации;

— повреждение ходовой части или моторной установки приводит к выходу из строя всего орудия;

— для маскировки и укрытия требует выполнения большого объема инженерных работ.

Самоходные артиллерийские орудия классифицируются по следующим основным признакам:

1. По типу орудия:
— самоходные гаубицы;
— самоходные пушки;
— самоходные гаубицы-пушки или пушки-гаубицы.
2. По калибру:
— самоходные орудия малого калибра (до 76 мм);
— самоходные орудия среднего калибра (до 152 мм);
— самоходные орудия крупного калибра (свыше 152 мм).
3. По массе:
— легкие (массой до 10 т);
— средние (массой до 30 т);
— тяжелые (массой свыше 30 т).
4. По степени бронирования артиллерийской части:
— бронированные самоходные артиллерийские орудия (рис. 17.1);

— полубронированные самоходные артиллерийские орудия;
— открытые самоходные артиллерийские орудия (рис. 17.2).

5. По кинематической схеме боевого отделения:
— с передним расположением боевого отделения (рис. 17.1);

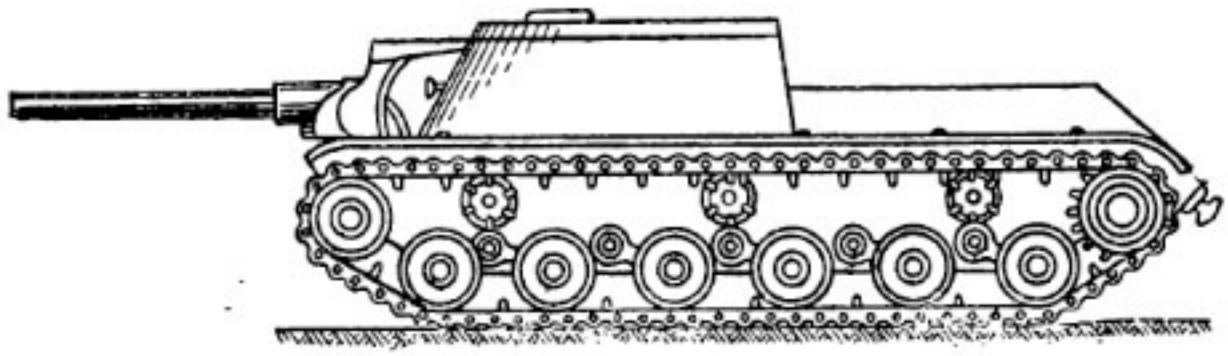


Рис. 17.1. Схема самоходного орудия с передним расположением боевого отделения

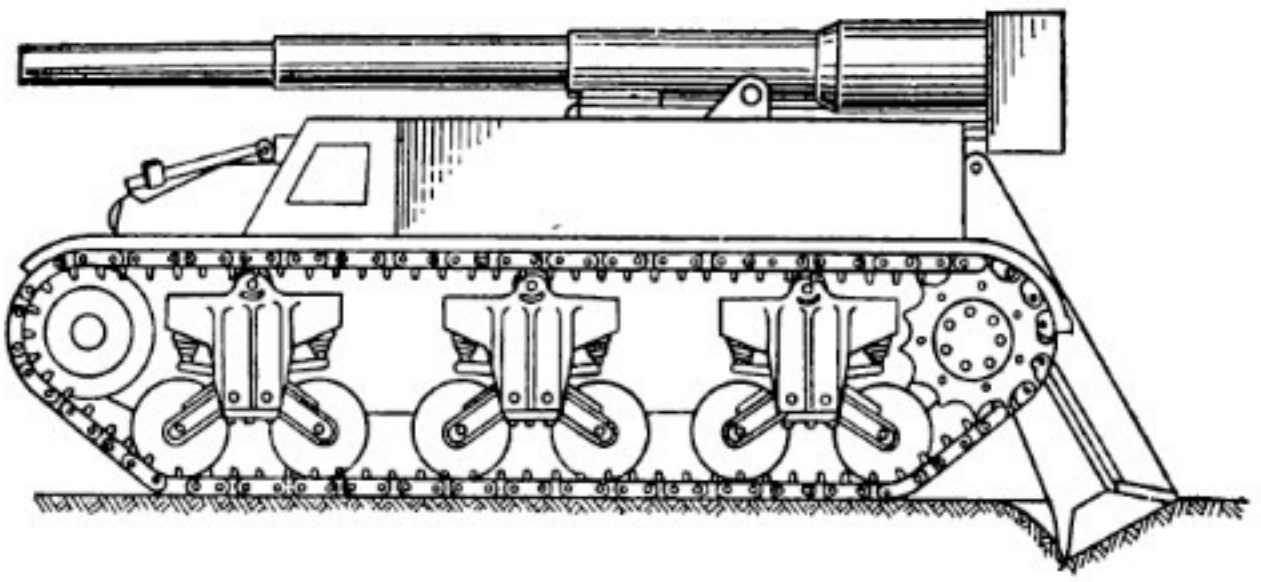


Рис. 17.2. Схема открытого самоходного орудия с сошниками

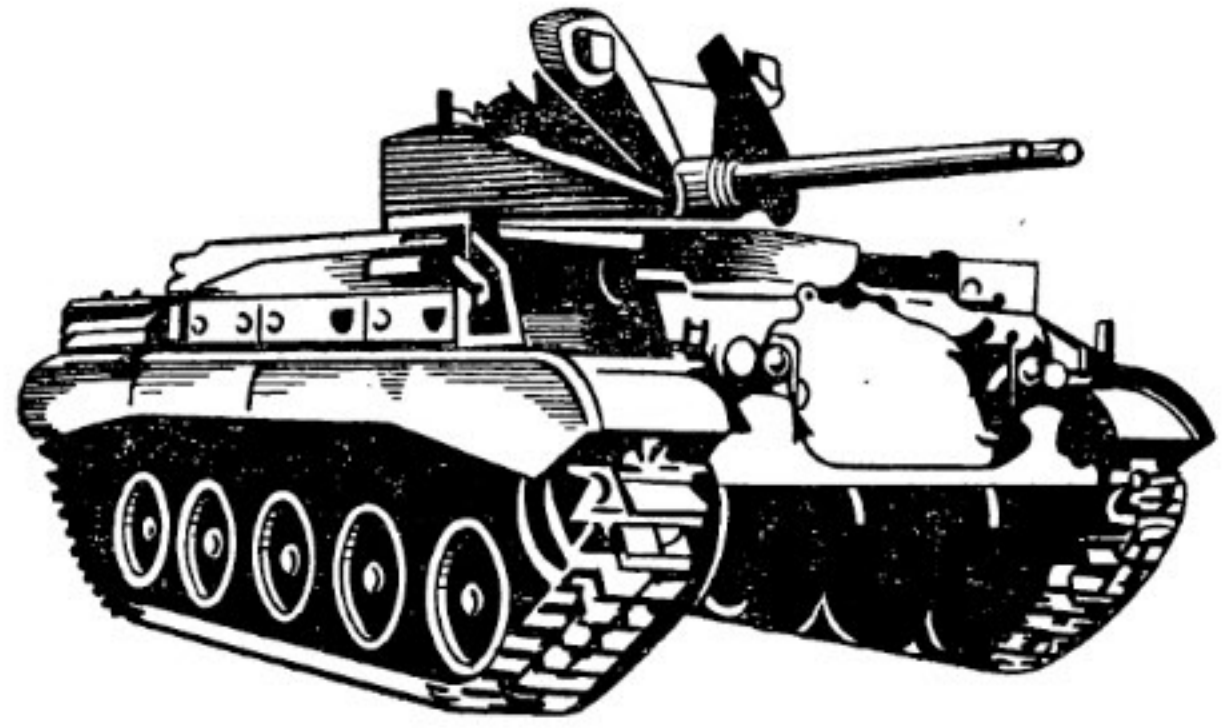


Рис. 17.3. Самоходное орудие со средним расположением боевого отделения и вращающейся башней

— со средним расположением боевого отделения (рис. 17.3);
— с задним расположением боевого отделения (рис. 17.4).

Вне зависимости от типа конструкции в каждом самоходном артиллерийском орудии можно выделить следующие основные части:

— артиллерийскую часть;
— корпус;

— силовую установку;
— ходовую часть;
— электрооборудование;
— вспомогательное оборудование.

Все эти части, как правило, располагаются в трех отделениях корпуса: боевом, силовом и отделении управления.

К артиллерийской части относят орудие с механизмами наведения и уравновешивающими механизмами, прицельные приспособления, возимый комплект боеприпасов с укладкой и пулеметные установки.

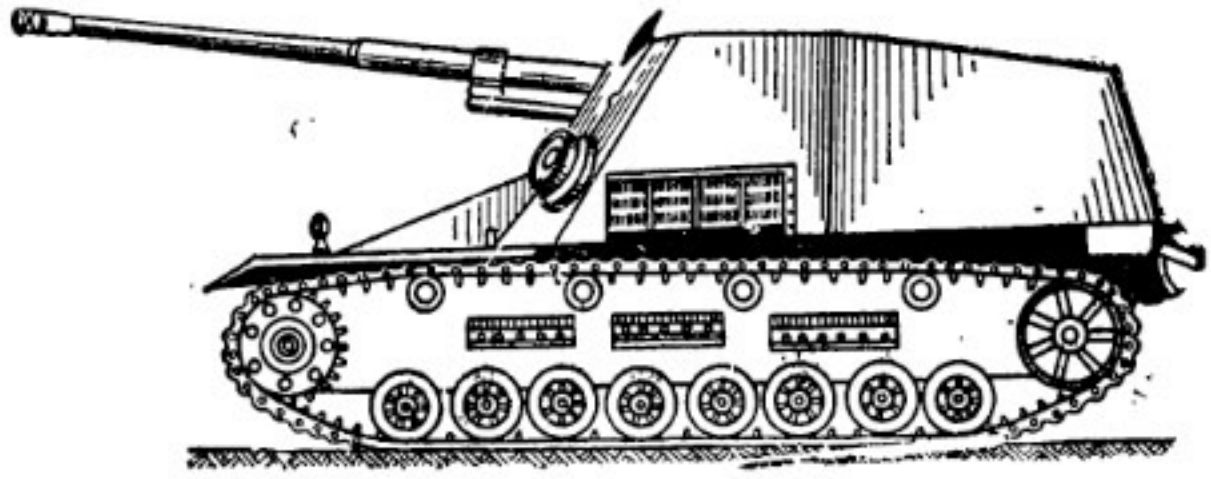


Рис. 17.4. Схема самоходного орудия с задним расположением боевого отделения

Корпус представляет собой сварную конструкцию, на которой устанавливаются все части самоходного орудия и который воспринимает усилия, действующие на самоходное орудие при выстреле и на марше.

В бронированных и полубронированных самоходных орудиях корпус изготовляют из броневых листов толщиной 6—12 мм для предохранения расчета от поражения пулями и осколками. Корпуса самоходных орудий делают герметичными для защиты расчета от действия поражающих факторов оружия массового поражения и для преодоления водных преград.

К силовой установке относятся двигатель со всеми его системами, главный фрикцион, коробка перемены передач (КПП), бортовые фрикционы и бортовая передача.

К ходовой части гусеничных самоходных орудий относятся гусеницы, ведущие (звездочки) и ведомые (ленивцы) колеса с натяжными устройствами, опорные и поддерживающие катки, а также подвеска (рессоры с амортизаторами и механизмами выключения рессор и амортизаторов при стрельбе).

Электрооборудование состоит из источников электроэнергии и потребителей. Источником энергии САО служат генераторы, работающие от маршевых двигателей, и аккумуляторные батареи. Основными потребителями электроэнергии являются маршевый двигатель, освещение, светосигнализация, средства связи, электрические и гидравлические приводы механизмов наведения и другие специальные устройства.

К вспомогательному оборудованию относятся средства связи, специальное оборудование и вспомогательные устройства.

К самоходным артиллерийским орудиям предъявляют кроме основных следующие дополнительные требования:

— мобильность;

— способность преодоления водных преград и зараженной местности;

— аэротранспортабельность.

§ 17.2. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ ЧАСТИ САМОХОДНЫХ ОРУДИЙ

Компоновка САО и специфичность их боевого применения требуют как постановку дополнительных механизмов в артиллерийской части, так и некоторых конструктивных особенностей в устройстве механизмов, которые в основном сводятся к следующему:

1. На стволе устанавливают механизм продувания.
2. Орудие имеет механизм подачи и досылания снарядов.
3. Применяют электрические и гидравлические приводы у механизмов наведения орудия.
4. Изменяют устройство и компоновку противооткатных устройств.
5. Применяют другой способ установки качающейся части на самоходном лафете.

Механизм продувания канала ствола. Механизм продувания канала ствола служит для очистки канала от пороховых газов после выстрела, уменьшая тем самым загазованность боевого отделения и опасность появления обратного пламени при открывании затвора после выстрела.

Загазованность боевого отделения пороховыми газами вызывает отравление экипажа. При концентрации окиси углерода в боевом отделении более 0,2 мг/л быстро снижается работоспособность расчета.

Пороховые газы из боевого отделения удаляют следующими способами:

— вентиляционными установками;

— механизмами продувания канала ствола;

— комбинированными способами (т. е. одновременное применение механизма продувания канала ствола с вентиляционной установкой).

При существующих мощностях орудий и при их сравнительно высокой скорострельности очистка боевого отделения от пороховых газов с помощью вентиляционной установки сопряжена со значительными трудностями, так как требует мощных установок сложной конструкции.

Гильза и канал ствола являются основными источниками загазованности САО, поэтому эти элементы должны быть очищены от газа в первую очередь и как можно полнее; в силу этого способ удаления газа из боевого отделения с помощью механизма проду-

вания канала ствола оказался более эффективным и простым и в настоящее время применяется во всех САО.

Комбинированный способ очистки боевого отделения от пороховых газов применяется в САО, у которых при стрельбе на наименьших зарядах эффективность действия механизма продувания канала ствола недостаточная.

Продувание канала ствола производят как сжатым воздухом, так и пороховыми газами, образующимися при выстреле. Действие механизма, использующего для продувания сжатый воздух, со-

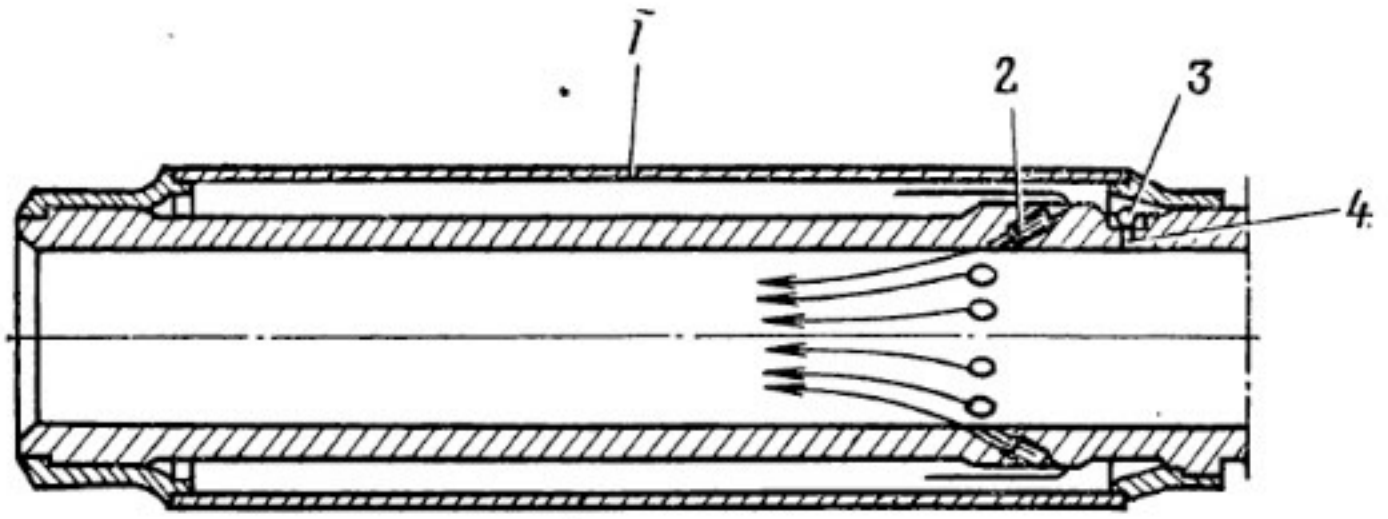


Рис. 17.5. Механизмы продувания:
1 — ресивер; *2* — сопла; *3* — шариковый клапан; *4* — отверстие клапана

стоит в следующем: после выстрела в момент открывания затвора в канал ствола через специальное отверстие, находящееся в казеннике, подается сжатый воздух под давлением $10 \cdot 10^5$—$40 \cdot 10^5$ Н/м^2, который удаляет пороховые газы из канала ствола. В зависимости от калибра орудия расход воздуха на одну продувку составляет 1,2—1,5 объема канала ствола. Конструкция такого механизма сложна, занимает много места в боевом отделении и тем самым ухудшает условия работы расчета. Этих недостатков лишены механизмы продувания канала ствола, работающие за счет энергии пороховых газов. Их называют механизмами эжекционного типа. Схема такого механизма была впервые предложена в 1940 г. проф. М. Ф. Самусенко.

Механизмы продувания канала ствола эжекционного типа, как правило, состоят из ресивера *1* (рис. 17.5), надеваемого на трубу ствола и служащего резервуаром для пороховых газов, сопл *2*, ввинчиваемых в стенку ствола под определенным углом и служащих для ускорения потоков пороховых газов и придания им определенного направления движения, шариковых клапанов *3*, которые во время истечения пороховых газов из ресивера перекрывают отверстие *4*.

Работа механизма происходит следующим образом. После прохождения ведущим пояском снаряда отверстия *4* пороховые газы устремляются в это отверстие, силой своего давления поднимают клапан *3* и проходят в ресивер *1*, заполняя его. Ресивер заполняется пороховыми газами через сопла *2*, после того как ведущий поясок снаряда пройдет сечение *1—1*. Наполнение продол-

жается до тех пор, пока не сравняются давления пороховых газов в ресивере и канале ствола (точка *1* на рис. 17.6).

В это время под действием силы тяжести клапан *3* (рис. 17.5) опускается вниз и перекрывает отверстие *4*. Так как площадь поперечного сечения канала ствола значительно больше суммы площади критического сечения сопл *2*, то падение давления в канале ствола происходит намного быстрее (рис. 17.6), чем в ресивере *1* (рис. 17.5). Как только давление в канале ствола станет меньше,

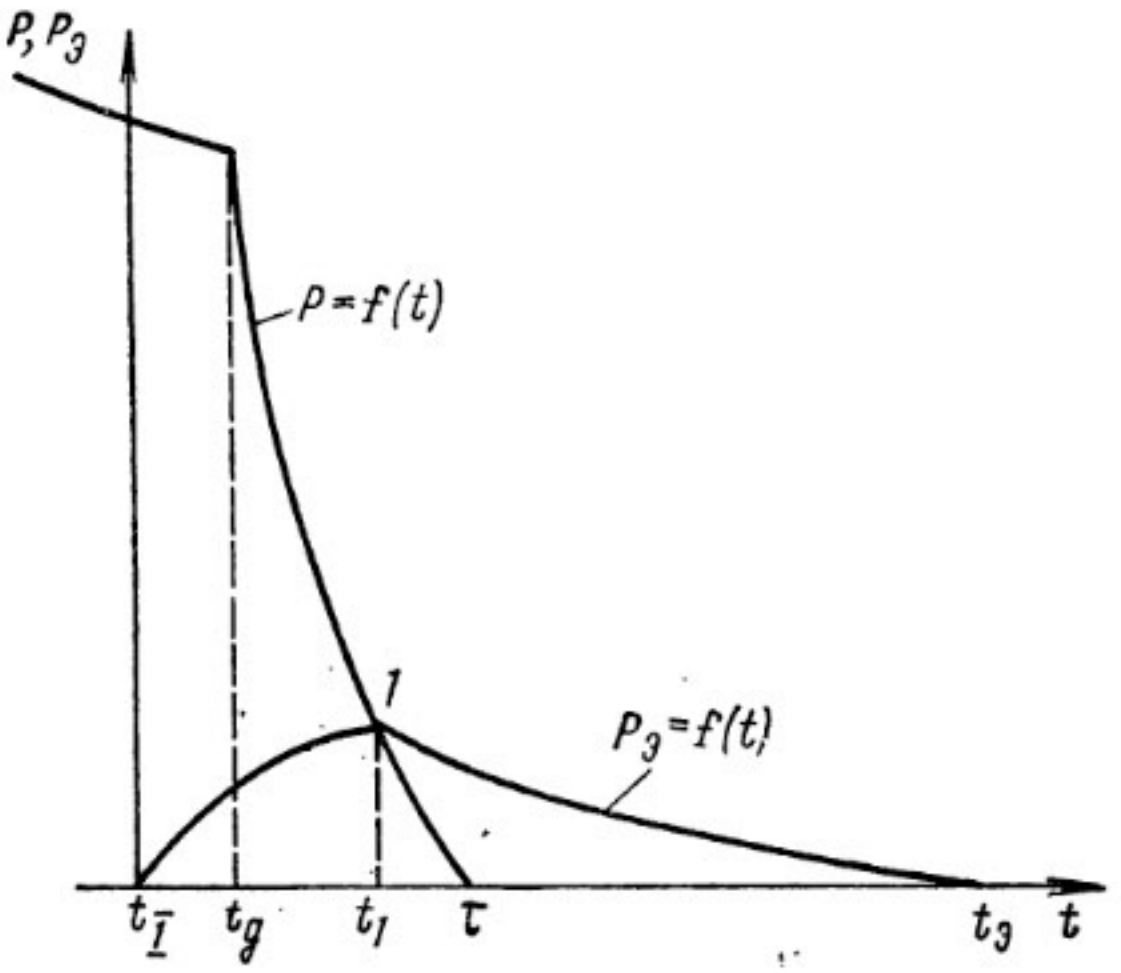


Рис. 17.6. График зависимости давления в ресивере от времени

чем в ресивере, пороховые газы начнут истекать из ресивера через сопла, в которых они ускоряются в направлении дульного среза и образуют эжектирующий поток. Этот поток высасывает пороховые газы из канала ствола и из гильзы. Истечение пороховых газов из ресивера должно продолжаться и после выбрасывания стреляной гильзы, чтобы газы отсасывались и из боевого отделения, т. е. время истечения газов из ресивера должно быть больше времени отката и наката.

Эффективность действия механизма зависит от места установки и размеров ресивера, от давления пороховых газов в нем, от числа и угла наклона сопл.

Кроме того, механизм продувания канала ствола исключает появление обратного пламени, которое в закрытых самоходных орудиях является небезопасным. Обратным называется пламя, образующееся у казенного среза после выбрасывания гильзы. Его появление объясняется тем, что при выбрасывании гильза, действуя как поршень насоса, вытягивает из канала ствола назад пороховые газы, которые содержат продукты неполного сгорания. Поэтому в момент контакта высокотемпературных пороховых газов с кислородом воздуха происходит их вторичное воспламенение.

Для увеличения скорострельности орудия и для облегчения работы заряжающего в самоходных орудиях применяют механизмы подачи боеприпасов. При подаче боеприпасов с грунта такими механизмами являются ленточные подаватели, электрические подъемники, механические тележки.

Подача выстрелов из боеукладки производится вручную, механизированным или комбинированным способом. При подаче выстрелов вручную одной из наиболее трудоемких и емких по времени операций является раскрепление и извлечение выстрела из боеукладки. Время раскрепления и извлечения выстрела составляет до 3 с и зависит от типа укладки и способа крепления выстрелов в укладке. В настоящее время применяются стеллажная механизированная и немеханизированная укладка и индивидуальная.

В индивидуальной укладке выстрелы могут иметь барашковое (рис. 17.7, *а*), лирочное (рис. 17.7, *б*), хомутовые крепления (рис. 17.7, *в*). Наибольшее время на раскрепление выстрела расходуется при барашковом креплении, однако это крепление наиболее прочное и надежное. При стеллажной немеханизированной укладке (рис. 17.7, *г*) крепление выстрелов (элементов выстрела) может осуществляться с помощью валиков или стопоров различного типа (рис. 17.7, *д*). Валиковые крепления требуют наименьших затрат времени на раскрепление выстрела. При стеллажной механизированной укладке крепление выстрелов осуществляется подпружиненными пробками.

Обычно в самоходных орудиях для большего удобства размещения боеприпасов и лучшего использования объема боевого отделения используются одновременно индивидуальная и стеллажная укладки.

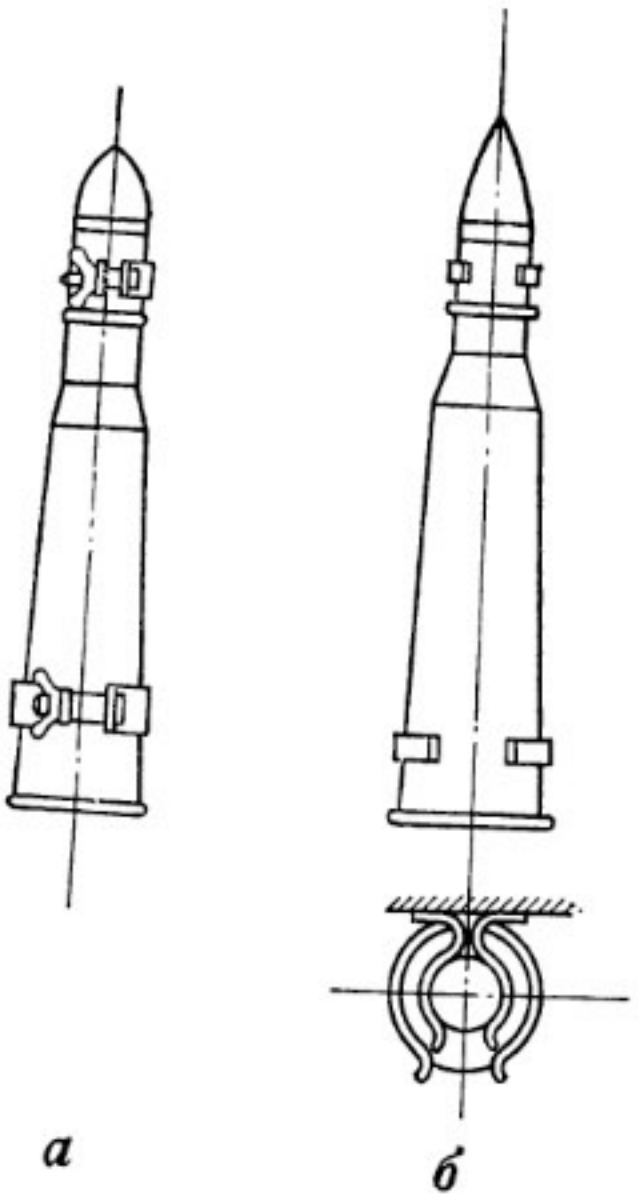
При механизированной подаче выстрелов из боеукладки применяется, как правило, стеллажная механизированная укладка.

Досылание выстрела в канале ствола в самоходных орудиях осуществляется, как правило, с помощью специальных устройств — досылателей. Досылатели могут работать, используя энергию выстрела или постороннего источника. Досылатели, использующие энергию выстрела, могут быть пружинные, пневматические и гидропневматические. Досылатели, использующие посторонние источники энергии, могут быть электромеханические, в которых электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую непосредственно или через гидравлические устройства.

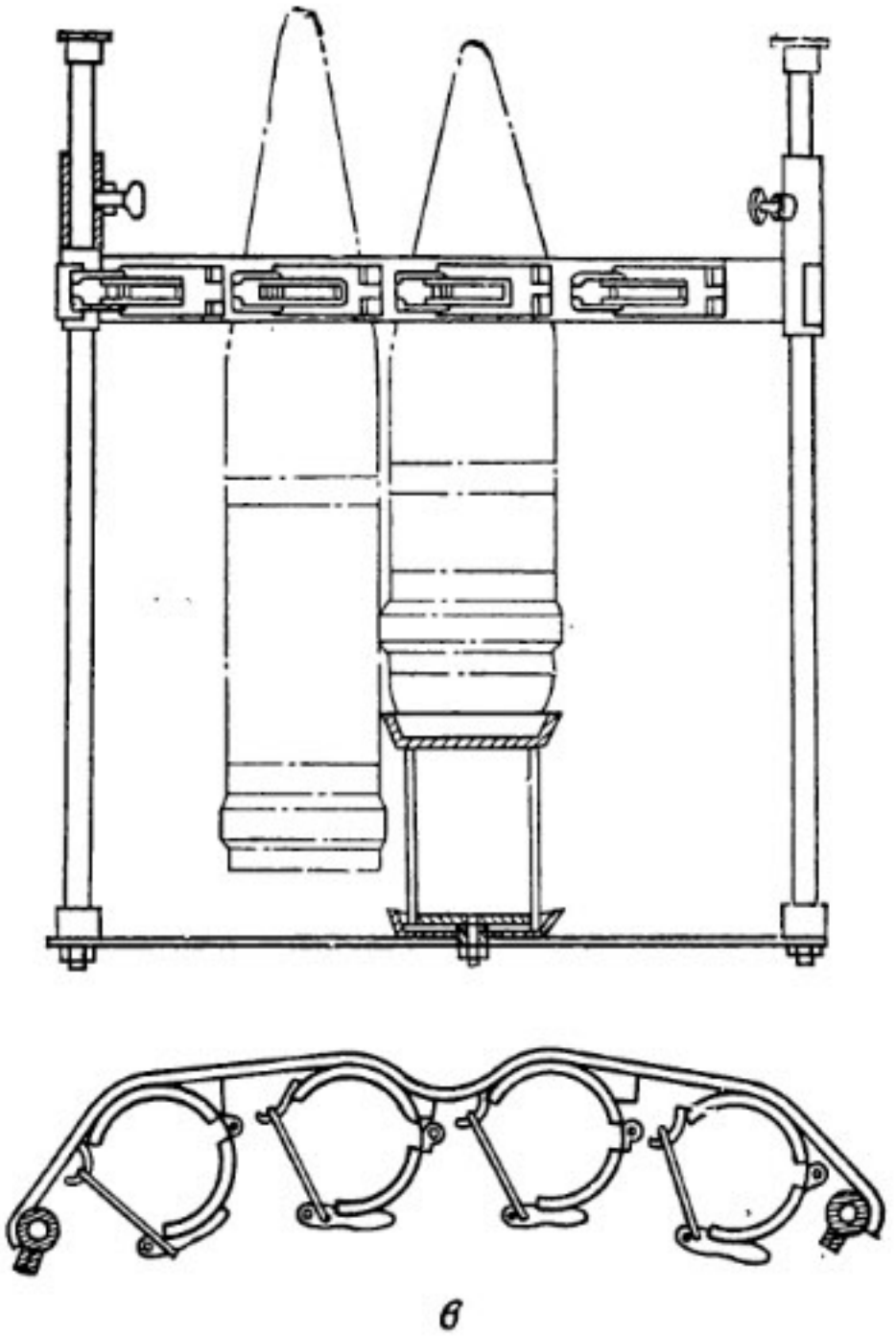
В настоящее время существует большое разнообразие досылателей, которые по типу ведущего (досылающего) звена могут быть разделены на стержневые (штоковые), цепные (тросовые) и роликовые.

Принципиальная схема пружинного штокового досылателя изображена на рис. 17.8, *а*. Он состоит из лотка *1*, цилиндра *2*, штока *3* с лапой *7*, пружины *4*, защелок *5* и *6*. Все части досылателя, за исключением защелок, при выстреле движутся вместе с откатными частями. В крайнем заднем положении откатных частей

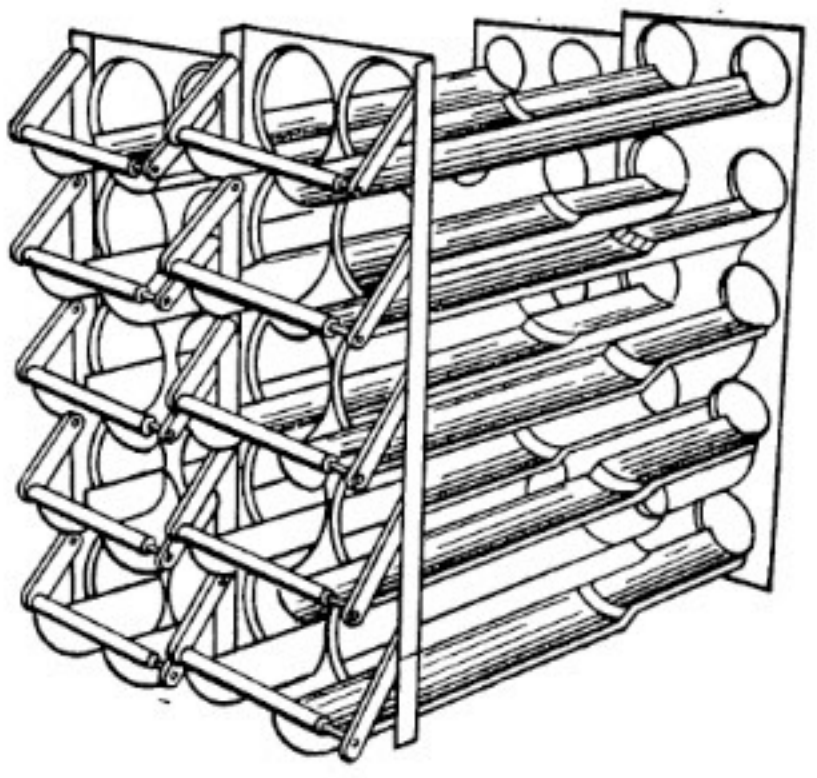
лапа штока стопорится защелкой *6*, удерживая шток. В результате во время наката происходит сжатие пружины *4*. При подходе откатных частей к переднему положению, когда выстрел оказался



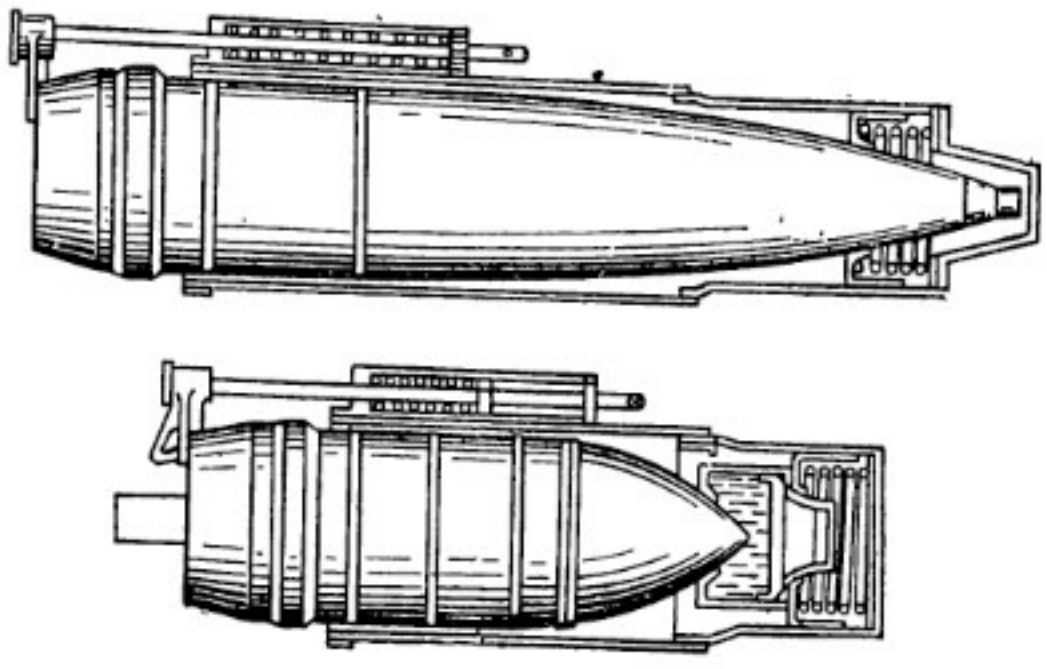
а *б*



в



г

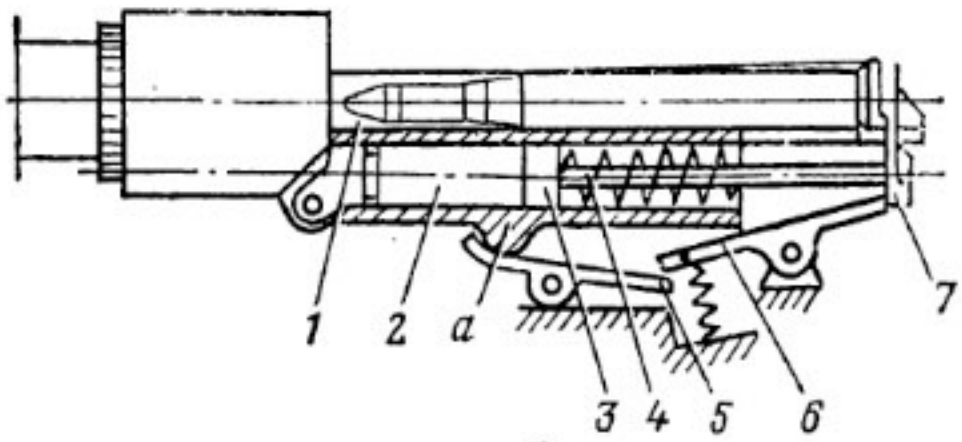


д

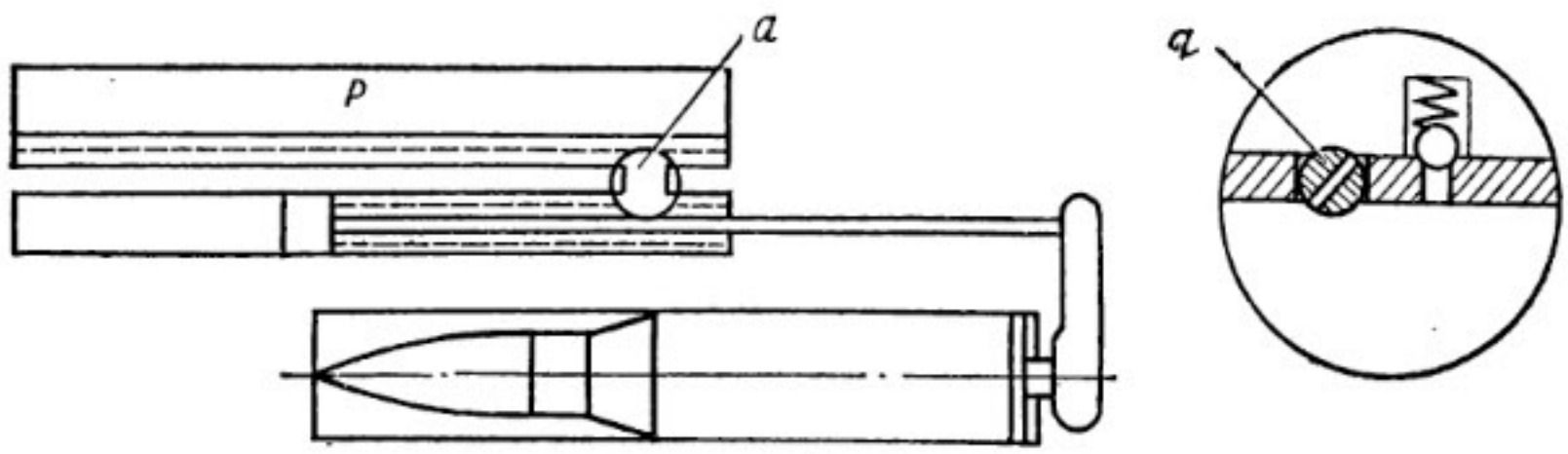
Рис. 17.7. Способы укладки и крепления боеприпасов:

а — барашковое крепление; *б* — лирочное крепление; *в* — хомутовое крепление; *г* — стеллажная немеханизированная укладка; *д* — стопорное крепление

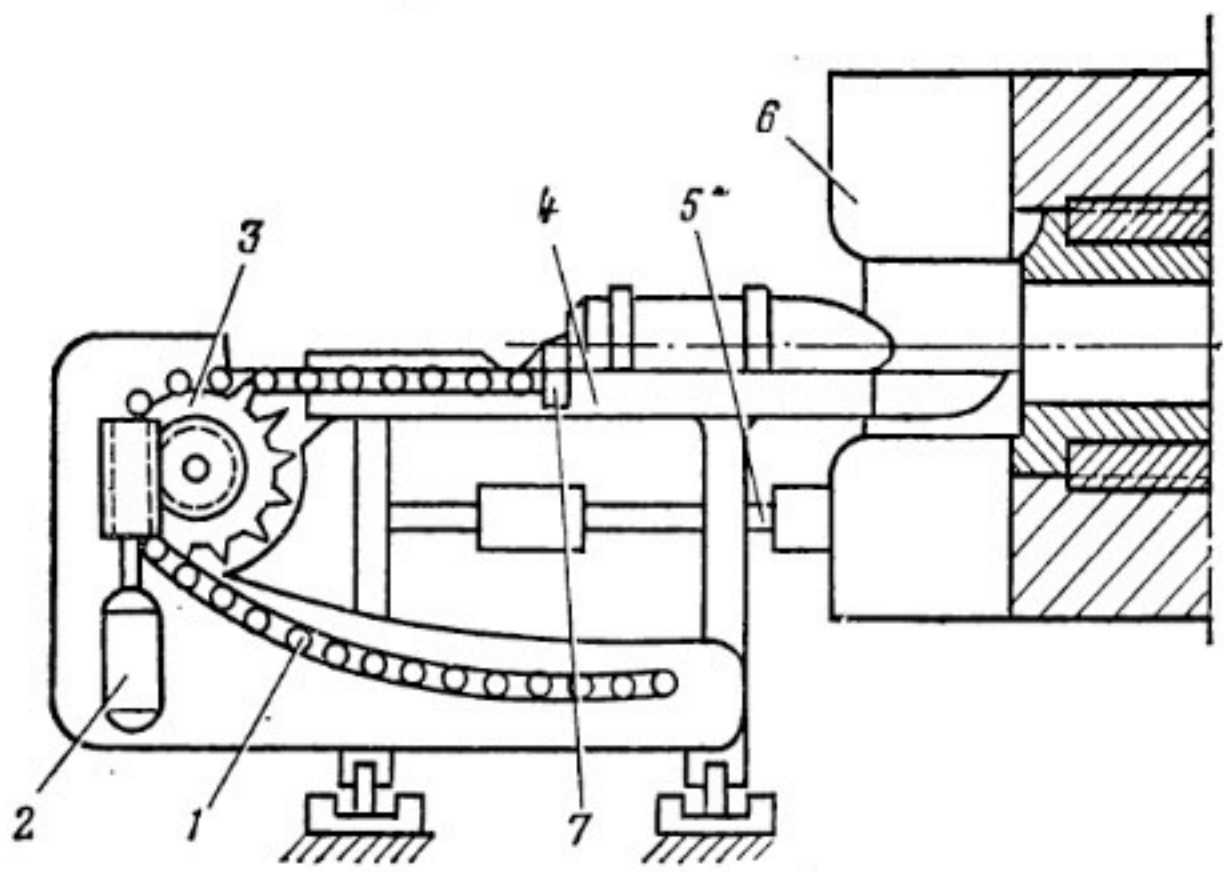
на лотке досылателя, копир *а* цилиндра досылателя нажимает на защелку *5*, которая своим нижним плечом действует на защелку *6*, поворачивая ее. При этом верхнее плечо защелки *6* утапливается



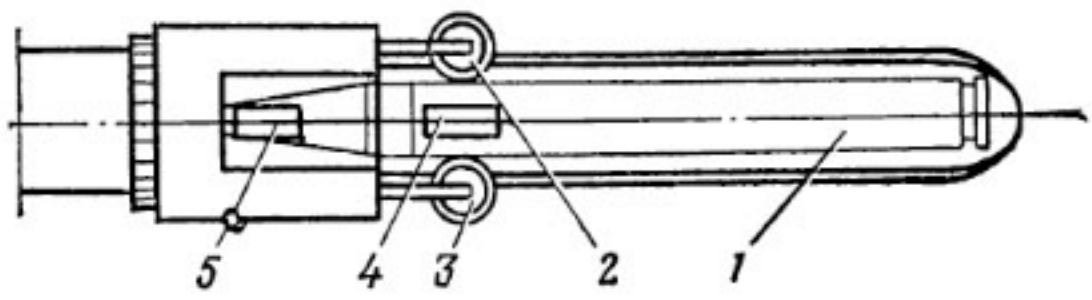
а



б



в



г

Рис. 17.8. Схемы досылателей:

а — пружинный штоковый досылатель: *а* — копир; *1* — лоток; *2* — цилиндр; *3* — шток; *4* — пружина; *5* и *6* — защелки; *7* — лапа;
б — гидропневматический штоковый досылатель: *а* — кран;
в — электромеханический цепной досылатель; *1* — цепь; *2* — электромотор привода; *3* — звездочка; *4* — каретка; *5* — стопор; *6* — казенник; *7* — клоц
г — роликовый досылатель

и освобождает шток досылателя. Под действием силы сжатой пружины шток досылателя перемещается вперед — происходит досылка выстрела.

Пружинные досылатели отличаются простотой устройства и надежностью действия. К недостаткам пружинных досылателей следует отнести трудность первого взведения, неудобство применения для выстрелов раздельно-гильзового заряжания, трудность обеспечения принудительного досылания на всем пути движения выстрела и, наконец, большие габариты.

У гидропневматического штокового досылателя (рис. 17.8, *б*) в качестве аккумулятора энергии используется сжатый газ. Основное достоинство его по сравнению с пружинным досылателем состоит в том, что введением в конструкцию специального крана *а* можно изменить площадь поперечного сечения отверстия истечения жидкости при движении штока вперед и тем самым при различных углах возвышения обеспечить необходимое изменение силы досылателя, а следовательно, и скорости. К недостаткам досылателей подобного типа, как и пружинных, следует отнести трудность первого взведения и неудобство применения для выстрелов раздельно-гильзового заряжания, а также зависимость их работы от температуры окружающей среды.

Пружинные и гидропневматические штоковые досылатели применяются в зенитных самоходных артиллерийских орудиях.

В наземных самоходных артиллерийских орудиях наибольшее применение получили электромеханические цепные досылатели (рис. 17.8, *в*). Основными частями этого досылателя являются цепь *1*, каретка *4* с лотком для укладки выстрела (элементов выстрела), стопор *5* каретки, электромотор привода *2*, звездочка *3*. Работает электромеханический цепной досылатель следующим образом. После выведения каретки со снарядом на линию заряжания она стопорится стопором *5*. При застопоривании каретки автоматически включается электродвигатель *2*, который через червячную передачу и фрикционную муфту приводит во вращение звездочку *3*. Звездочка *3* движет цепь *1*, которая клоцем *7* перемещает снаряд вперед до упора ведущим пояском в конический скат канала ствола. После досылки снаряда автоматически происходит реверсирование электродвигателя, благодаря чему обеспечивается возвращение цепи в исходное положение с последующим выключением электродвигателя. Затем заряжающий кладет гильзу на лоток каретки и нажатием кнопки досылки гильзы включает электродвигатель, который, вращая звездочку, перемещает цепь. Цепь своим клоцем досылает гильзу в камору ствола и в результате реверса электродвигателя возвращается в исходное положение. Досланная гильза фланцем сбивает лапки выбрасывателя; клин, закрываясь, расстопоривает каретку, которая под действием пружины возвращается в исходное положение.

Электромеханические цепные досылатели обеспечивают принудительную досылку выстрелов (элементов выстрелов) на всем пути, имеют сравнительно небольшие габариты и позволяют регу-

лировать скорость досылки. Недостатки — сложность конструкции и необходимость иметь посторонний источник энергии.

Основными характеристиками досылателей являются сила досылателя, время досылания и скорость, сообщаемая досылателем выстрелу (элементам выстрела) в конец досылания.

Сила пружинных и гидропневматических досылателей может быть определена так же, как для пружинных и гидропневматических накатников. Сила, развиваемая цепным досылателем, может быть определена по мощности, развиваемой электродвигателем, и передаточному числу привода.

Скорость досылки выстрелов (элементов выстрела) должна обеспечить надежную досылку при всех углах возвышения ствола.

Для выстрелов унитарного заряжания скорость досылания должна быть не менее 0,6—1 м/с. Эта скорость вполне достаточна для того, чтобы обеспечить надежное сбивание лапок выбрасывателя фланцем гильзы. Наибольшая скорость досылки ограничивается прочностью закрепления (закатки) снаряда в гильзе. Она должна быть такой, чтобы при ударе фланцем гильзы по захватам выбрасывателей, а затем по бурту трубы ствола не происходило распатронирование выстрела, т. е. сила инерции, возникающая при резкой остановке патрона, должна быть меньше сил, удерживающих снаряд в гильзе. Распатронирование выстрела приводит к нарушению условий заряжания, а в случае осечки усложняется перезаряжание орудия.

Скорость досылания снаряда при раздельно-гильзовом заряжании должна обеспечивать надежное заклинивание ведущего пояска в коническом скате каморы. Опытами установлено, что эта скорость при подходе снаряда к коническому скату должна быть порядка 1,5—2 м/с. Скорость гильзы при подходе к бурту трубы должна быть около 1,5 м/с. При большей скорости возможны выползание заряда из гильзы и смятие фланца гильзы. В некоторых случаях при досылании гильзы возможно образование так называемой воздушной подушки между досланным снарядом и движущимся зарядом в гильзе. Воздушная подушка может выбросить гильзу после заряжания или помешать закрыванию затвора. Для предупреждения образования воздушной подушки досылку гильзы производят принудительно на всем пути заряжания или досылку всего выстрела производят одним броском так, чтобы гильза вела перед собой снаряд.

Скорость и время досылания при известном пути могут быть получены интегрированием уравнения движения подвижных частей досылателя, которое в общем случае имеет вид

$$(M + m_в)\frac{d^2X}{dt^2} = F_д - R_с,$$

где M — масса подвижных частей досылателя, приведенная к ведущему звену;

$m_в$ — масса выстрела (элемента выстрела);

$F_д$ — движущая сила (сила давления газа гидропневматического досылателя, сила пружины пружинного досылателя, окружное усилие на звездочке электромеханического досылателя и т. п.);

$R_с$ — сила сопротивления перемещению подвижных частей досылателя и выстрела.

Условия работы расчета бронированных и полубронированных самоходных артиллерийских орудий существенно отличаются от условий работы расчета буксируемых орудий. Это отличие в первую очередь определяется малым объемом боевого отделения. Плотность компоновки боевого отделения для бронированных самоходных орудий оценивается отношением фактического свободного объема отделения к минимально потребному для нормальной работы номеров расчета. Для обеспечения нормальных условий работы номеров расчета минимальный объем рабочего места наводчика должен быть не менее 0,7—0,8 м³, командира — 0,6—0,7 м³, а заряжающего 1—1,1 м³. Наименьшая высота боевого отделения должна быть не менее 1220—1260 мм. Такую высоту боевого отделения самоходные орудия имеют в том случае, когда выстрелы из боеукладки к заряжающему подаются с помощью автоматически действующих транспортеров и заряжающий работает сидя.

Для выполнения взаимозаменяемости номеров расчета во время стрельбы компоновка боевого отделения должна быть такой, чтобы все рабочие места сообщались между собой. Для предохранения номеров расчета от ударов откатными частями орудия при откате устанавливается специальное ограждение и, кроме того, для дополнительного предохранения заряжающего устанавливается блокирующее устройство. Это устройство обеспечивает механическую, а при электроспуске и электрическую блокировку спуска, исключающую производство выстрела до момента, пока заряжающий займет безопасное положение и включит блокировку.

В целях уменьшения потребных размеров боевого отделения и улучшения условий размещения расчета откатные части имеют малую длину отката — порядка 300—550 мм. Это достигается применением высокоэффективных дульных тормозов и увеличением силы сопротивления откату R, которая в два-три раза больше, чем в буксируемых артиллерийских орудиях, и составляет 1/15—1/10 силы, производящей откат ствола в момент достижения максимального давления, т. е. от силы $P_{кн\,max}$. Ограниченные размеры боевого отделения заставляют уменьшать не только длину отката, но и размеры противооткатных устройств (длину и диаметр цилиндров). Это приводит, в частности, к повышению давления жидкости в тормозе отката при выстреле до 300×10^5 Н/м², в то время как в тормозах отката буксируемых орудий это давление редко превышает 150×10^5 Н/м². Уменьшение объема жидкости тормоза отката вызывает более быстрый нагрев ее (особенно при интенсивной стрельбе) и может составлять до 8° К за один выстрел, т. е. в несколько раз больше, чем у буксируемых орудий. Сильный разогрев жидкости и высокое давление в тормозе отката мо-

гут вызвать течь жидкости через уплотнительные устройства, а кроме того, требуют обязательной постановки компенсаторов.

Накатники самоходных орудий, как и тормоза отката, имеют небольшие размеры. Это достигается за счет высоких начальных давлений и малых объемов жидкости в накатнике, а также применением пневматических накатников.

Механизмы наведения самоходных орудий делают, как правило, секторными с ручными, электрическими или гидравлическими приводами. Для обеспечения несбиваемости наводки при отсутствии в кинематической цепи механизмов наведения самотормозящих пар применяются специальные тормозные устройства: тормоза цилиндрических (планетарных) передач, тормоза обратного движения (роликовые, пружинные и др.). Основное свойство тормозов обратного движения — способность самозаклинивания, если движение идет со стороны ведомого вала в любую сторону.

Качающиеся части орудия хорошо уравновешиваются для уменьшения усилий на маховике подъемного механизма при наводке ручным приводом. Уравновешивание качающейся части, как правило, производят пневматическими или пружинными уравновешивающими механизмами. При установке орудия во вращающейся башне требуется уравновешивание и вращающейся части орудия (башни).

В качестве прицельных приспособлений на самоходных орудиях используются механические и оптико-механические прицелы, а также оптические прицелы для прямой наводки.

Применяемые механические и оптико-механические прицелы, как правило, являются прицелами, независимыми от орудия с независимой линией прицеливания. Это объясняется тем, что панорама этих прицелов, которая выводится наружу через люк башни, при придании качающейся части углов возвышения остается неподвижной, а следовательно, и размеры люка панорамы делаются небольшими. Для удобства наблюдения точки наводки панорама прицелов имеет бóльшую перископичность, чем у обычных орудийных панорам. Приборы освещения прицелов питаются электроэнергией от бортовой сети самоходного артиллерийского орудия.

§ 17.3. ДЕЙСТВИЕ ВЫСТРЕЛА НА САМОХОДНОЕ ОРУДИЕ

Рассмотрим действие выстрела на САО при следующих допущениях:

— подрессоривание выключено;

— орудие установлено на твердое горизонтальное основание;

— силы, действующие на орудие, лежат в плоскости симметрии;

— перемещения орудия при выстреле отсутствуют;

— стрельба ведется при угле возвышения $\varphi > 0$.

Условия неподвижности и устойчивости в простейшем виде определяются следующим образом. Так как перемещения орудия

при выстреле отсутствуют согласно принятым допущениям, то его можно рассматривать как находящийся в равновесии.

Уравнения равновесия самоходного орудия по аналогии с буксируемым могут быть представлены в следующем виде (рис. 17.9):

$$\sum X = P_{кн}\cos\varphi - M_0\frac{d^2X}{dt^2}\cos\varphi - T_c = 0; \qquad (17.1)$$

$$\sum M_c = P_{кн}(e+h) - M_0\frac{d^2X}{dt^2} - h - Q_б D_x - Nb = 0, \qquad (17.2)$$

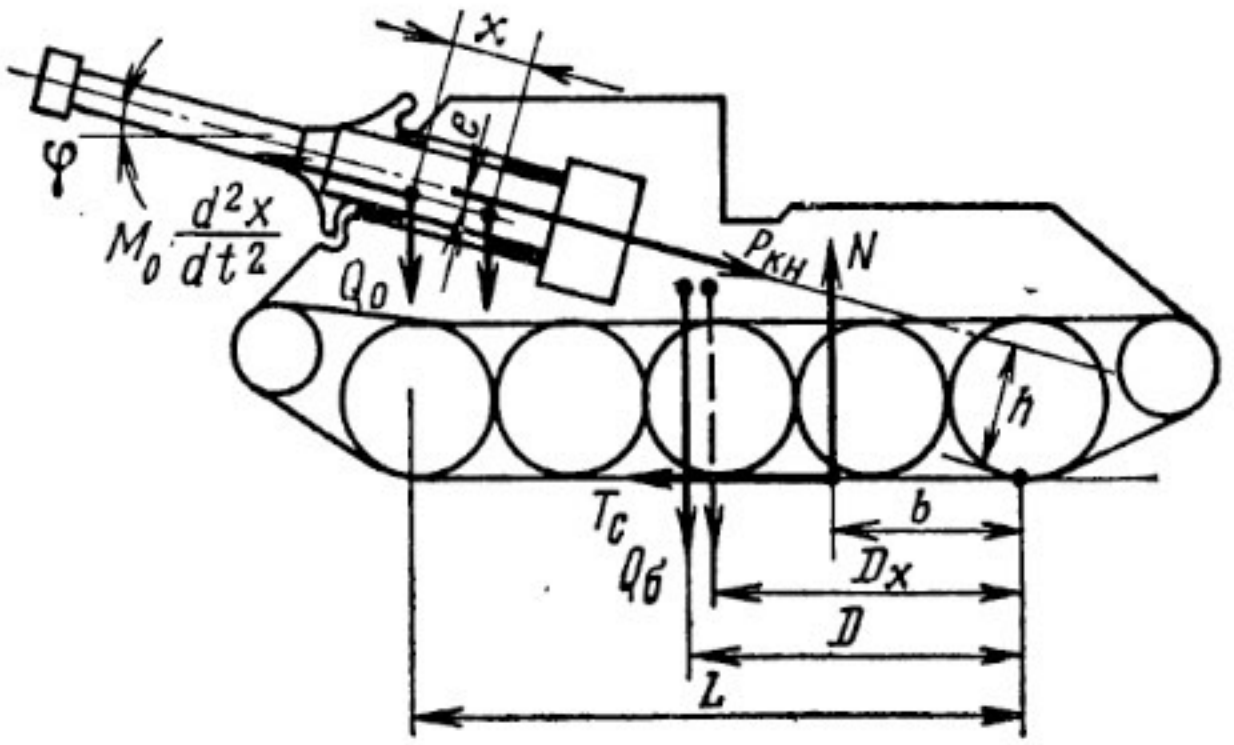


Рис. 17.9. Силы, действующие на самоходное орудие при выстреле

где $T_c = \mu Q_б$ — сила сцепления гусениц с грунтом;

$Q_б$ — сила тяжести САО;

N — вертикальная реакция грунта на гусеницы, приложенная в центре давления гусениц на грунт.

Решая уравнения (17.1) и (17.2) относительно реакций T_c и N и имея в виду, что

$$M_0\frac{d^2X}{dt^2} = P_{кн} - R,$$

после преобразований получим

$$T_c = R\cos\varphi; \qquad (17.3)$$

$$N = \frac{P_{кн}e + Rh - Q_б D_x}{b}. \qquad (17.4)$$

Уравнение (17.3) называется уравнением неподвижности. Из условия неподвижности следует, что для предотвращения юза при выстреле необходимо, чтобы сила сопротивления откату R при $\varphi = 0°$ была меньше силы сцепления гусениц с грунтом или равна ей, т. е. $R \leqslant \mu Q_б$. Так как коэффициент сцепления гусениц с грунтом $\mu = 0{,}7 \div 0{,}8$, то для обеспечения неподвижности самоходного орудия при выстреле необходимо, чтобы $R \leqslant (0{,}7 \div 0{,}8)\ Q_б$.

Условие устойчивости может быть получено из выражения (17.4). Самоходное орудие при выстреле будет устойчивым, если

реакция грунта N больше нуля или в крайнем случае равна ему, т. е.

$$N \geqslant 0. \tag{17.5}$$

Так как плечо $в$ силы N всегда положительное, то для выполнения неравенства (17.5) согласно формуле (17.4) необходимо, чтобы выполнялось условие

$$P_{кн}e + Rh - Q_б D_X \geqslant 0 \tag{17.6}$$

или

$$Q_б D_X \geqslant Rh + P_{кн}e. \tag{17.7}$$

Перемещение откатных частей орудия при выстреле приводит к изменению положения центра тяжести орудия согласно формуле (12.8):

$$Q_б D_X = Q_б D - Q_o X \cos\varphi, \tag{17.8}$$

где Q_o — сила тяжести откатных частей.

С учетом уравнения (17.8) условие устойчивости самоходного орудия (17.7) при откате будет таким:

$$Q_б D - Q_o X \cos\varphi \geqslant Rh + P_{кн}e. \tag{17.9}$$

Следует иметь в виду, что условия (17.3) и (17.9) справедливы лишь в случае выполнения принятых выше допущений, т. е. в какой-то мере они справедливы для САО, которые ведут стрельбу с жесткого поддона, а также для орудий, снабженных сошниками.

В действительности САО при выстреле перемещается вследствие невыполнения изложенных выше допущений, а также из-за наличия гусениц и упругих подвесок, которые при выстреле не выключаются.

Наличие гусениц вызывает прокатывание катков по ее ленте и юз орудия по грунту по причине недостаточного сцепления с грунтом и его деформации.

Стрельба с невыключенными подвесками вызывает линейные вертикальные перемещения корпуса САО, а также вращение вокруг его поперечной, продольной и вертикальной осей. Перемещения корпуса носят характер затухающих колебаний. Следовательно, говорить о так называемой абсолютной устойчивости и неподвижности САО при выстреле нельзя.

Все эти перемещения корпуса САО при выстреле вызывают сбиваемость наводки и исходного положения ствола в период движения по нему снаряда и появление перегрузок, действующих на расчет.

Устойчивым и неподвижным при выстреле следует считать такое самоходное орудие, у которого параметры, характеризующие линейные и угловые перемещения, а также линейные и угловые колебания являются допустимыми по условиям ведения стрельбы расчетом и не снижают кучности боя и скорострельности.

Устойчивость следует считать неудовлетворительной, если юз самоходного орудия, прыжки, углы разворота, продолжительность

затухания колебаний корпуса и ускорения, действующие на расчет, достигают таких величин, которые сказываются на скорострельности и на удобстве ведения стрельбы, а также приводят к недопустимому сбиванию наводки вследствие смещения орудия и к снижению работоспособности расчета.

Так как при предельном угле поворота корпуса самоходного лафета на подвесках вокруг поперечной оси $\alpha_{\text{пред}}$ происходит удар рычагов опорных катков об ограничители хода («пробивание» подвески), то орудие считается устойчивым только в том случае, если угол поворота корпуса при выстреле

$$\alpha = (0{,}70 \div 0{,}75)\,\alpha_{\text{пред}}.$$

Считается, что при выполнении этого условия создается достаточно большой запас невозможности «пробивания» подвески. При «пробивании» подвески возникают большие вертикальные ускорения на рабочих местах номеров расчета, которые вызывают подбрасывания номеров расчета со своих мест и, как следствие, вызывают его травмирование. Кроме того, из-за действия больших ускорений возможны поломки оборудования и приборов, смонтированных в боевом отделении и отделении управления.

Критерием оценки устойчивости САО является также время затухания колебаний орудия, вызванных действием выстрела. При большом времени затухания колебаний орудия затрудняется заряжание орудия и, кроме того, при высокой скорострельности происходит наложение колебаний от предыдущего выстрела на колебания орудия при очередном выстреле, что, естественно, приводит к снижению кучности.

Опыт эксплуатации показывает, что в большинстве случаев колебания самоходного орудия успевают затухать в промежутках между выстрелами, а скорострельность ограничивается не продолжительностью колебаний, а временем заряжания.

Важной характеристикой являются полные и остаточные горизонтальные перемещения самоходного орудия при выстреле, так как это приводит к сбиванию горизонтальной наводки при стрельбе с закрытых позиций.

Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что горизонтальные перемещения САО при стрельбе с бетонированной площадки с расторможенными гусеницами не превосходят 700—800 мм, а при заторможенных гусеницах — 200 мм. Остаточный отход вследствие пробуксовки тормозов при заторможенных гусеницах и остаточный наброс (перемещение вперед), появляющийся из-за упругости гусениц, не превышают 70—80 мм. При удалении боковой точки наводки на 800—1000 м и остаточных отходах или набросах 70—80 мм горизонтальная наводка после 5—10 выстрелов может сбиться на 1—2 д. у. и без исправления наводки стрельба становится неточной. Величины горизонтальных перемещений могут превосходить указанные, особенно для самоходных орудий крупных калибров.

Согласно существующим требованиям допустимые ускорения самоходного орудия при выстреле в горизонтальной плоскости не должны превосходить 9 g (около 90 м/с^2), а в вертикальной — 6 g (около 60 м/с^2). Считается, что такие горизонтальные и вертикальные ускорения расчет переносит удовлетворительно, так как у него при этом не нарушаются физиологические функции организма и не снижается работоспособность. На расчет влияет не только уровень ускорения, но и время их нарастания. Чем меньше время нарастания, тем выше уровень допустимых ускорений.

Следует иметь в виду, что ускорение корпуса САО не полностью передается на расчет. Величина ускорений, действующих на расчет, зависит от качества налобников и сидений.

Кроме продольной устойчивости и неподвижности следует различать поперечную устойчивость и неподвижность при стрельбе через борт корпуса самоходного орудия.

В таком положении ствола относительно продольной оси корпуса возможен значительный поворот корпуса вокруг внешней гусеницы; при этом внутренняя гусеница отрывается от грунта. Кроме того, возможны разворот корпуса вокруг вертикальной оси, сползание корпуса (юз), отход и наброс. Однако как отход, так и наброс в этом случае невелики. Наибольший отрыв внутренней гусеницы от грунта (до 50 мм), а также незначительный юз (20—30 мм) неопасны и практически не отражаются на условиях ведения стрельбы и ее результатах.

Поперечная устойчивость и неподвижность считаются неудовлетворительными, если юз, отход, углы разворота и ускорение достигнут таких величин, при которых нарушается удобство ведения стрельбы, происходит недопустимое сбивание наводки, особенно горизонтальной, снижается скорострельность и нарушаются физиологические функции организма.

ГЛАВА 18

РАЗРАБОТКА, ИСПЫТАНИЕ И ПРИНЯТИЕ ОРУДИЙ НА ВООРУЖЕНИЕ

§ 18.1. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ОРУДИЙ

Артиллерийские орудия являются весьма сложными и дорогостоящими машинами, на разработку и изготовление которых требуется затрата высококвалифицированного труда инженеров, техников и рабочих различных специальностей. Поэтому разработка новых типов орудий предусматривает строгую научно обоснованную последовательность и объем работ при их создании.

Создание нового образца артиллерийского орудия слагается из следующих основных этапов:

1. Разработка тактико-технических требований (технического задания и технических предложений).

2. Разработка эскизного проекта, изготовление и испытание макетов с последующим рассмотрением и утверждением эскизного проекта орудия и элементов выстрела.

3. Разработка технического проекта и технических условий (ТУ), их рассмотрение и утверждение.

4. Разработка конструкторских документов, изготовление опытного образца, проведение заводских испытаний и корректировка конструкторских документов (чертежей, расчетов, технических условий на изготовление отдельных узлов или агрегатов, технических описаний и эксплуатационных документов).

5. Составление программы и методики проведения испытаний, проведение испытаний, составление и утверждение отчета по испытаниям и выдача заказа на изготовление опытной серии.

6. Изготовление опытной серии с устранением недостатков, отмеченных на полигонных испытаниях.

7. Проведение войсковых испытаний опытной серии специальной комиссией, составление отчета по испытаниям и его рассмотрение в соответствующей организации, связанной с производством вооружения.

8. Принятие вновь изготовленного образца на вооружение Советской Армии.

В целях сокращения времени на разработку образца артиллерийского орудия некоторые работы из перечисленных этапов выполняются параллельно.

Чтобы вновь созданный образец орудия более полно удовлетворял требованию войск, он прежде всего должен иметь характеристики, которые соответствуют современным тактико-техническим требованиям, предъявляемым к данному виду образца вооружения. В тактико-технических требованиях указывается назначение орудия, т. е. для решения каких основных боевых задач оно предназначено, и приводятся те технические и боевые характеристики, которые, безусловно, должны быть осуществлены при создании нового орудия. Кроме того, в тактико-технических требованиях могут быть приведены характеристики, осуществление которых желательно.

Поскольку тактико-технические требования уже предопределяют боевые свойства будущего орудия и направляют творческую мысль конструкторских коллективов по определенному пути, то разработка указанных требований является весьма ответственным этапом в деле создания нового образца артиллерийского орудия.

Разработка эскизного проекта начинается с внешнебаллистического проектирования (выбора снаряда, его веса, калибра, начальной скорости, веса взрывчатого вещества), при этом руководствуются разработанным тактико-техническим требованием. Затем на основе зависимостей и закономерностей внутренней баллистики проводят баллистическое проектирование орудия.

В результате баллистического проектирования устанавливают конструктивные данные канала ствола, условия заряжания при выбранных природе и форме пороха, энергетические (коэффициент могущества, коэффициент использования веса заряда и др.) и дополнительные характеристики.

Так как задача баллистического проектирования допускает множество решений, то из этого множества выбирают такое, которое будет соответствовать наивыгоднейшей конструкции разрабатываемого образца. Это значит, что создаваемое орудие должно иметь:

— максимальные дальность стрельбы, дальность прямого выстрела, бронепробиваемость и т. п.;

— взводимость штатного взрывателя при стрельбе на уменьшенном заряде;

— устойчивость на полете всех типов применяемых снарядов;

— боевые заряды с плотностью заряжания не более 0,75 кг/дм^3 ($0{,}75 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3);

— ствол, изготовленный из существующих орудийных сталей, выдерживающий заданное значение давления пороховых газов p_m.

После этого создаются чертежи и расчеты всех основных узлов и механизмов проектируемого артиллерийского орудия. При этом чертежи разрабатываются так, чтобы можно было иметь полное

представление об общем устройстве орудия (компоновке), его габаритных размерах, устройстве и работе механизмов. Как правило, при разработке орудия сначала конструируют, а затем рассчитывают. Это справедливо как при выполнении общей компоновки орудия, так и его отдельных агрегатов и механизмов.

При разработке эскизного проекта используются конструкции механизмов существующих орудий, созданных нашими талантливыми конструкторами. Однако каждый механизм или узел, заимствованный от существующего, критически оценивается, в него вносятся рациональные изменения и усовершенствования, исследуются его кинематика, прочность, динамика. При этом большое внимание уделяется удобству эксплуатации орудия в современных боевых условиях.

§ 18.2. ИСПЫТАНИЯ ОРУДИЙ

Артиллерийские орудия как опытные, так и принятые на вооружение подвергаются определенным видам испытаний, в ходе которых определяют соответствие образца требованиям технических условий (ТУ) на изготовление орудия, а также соответствие расчетных характеристик образца действительным.

Испытания могут быть опытными и контрольными. Опытным испытаниям подвергаются вновь разработанные образцы вооружения или образцы, подвергнутые модернизации. Опытные испытания проводятся по специальным программам с целью определить баллистические характеристики и проверить эксплуатационные качества орудия. В связи с этим такие испытания условно подразделяются на баллистические (баллистические стрельбы) и испытания самого орудия. На основании полученных опытных данных делается заключение о принятии, доработке или о непринятии на вооружение испытуемого образца.

Контрольным испытаниям подвергаются артиллерийские орудия, принятые на вооружение. Цель испытаний — определить правильность и доброкачественность изготовляемой заводом продукции.

Контрольные испытания проводятся в соответствии с ТУ на изготовление и прием вооружения и подразделяются на малые контрольные испытания (МКИ) и большие контрольные испытания (БКИ), испытания на кучность; кроме того, бывают специальные виды испытаний, например испытания стволов, подлежащих обновлению, дульных тормозов и т. п.

Малые контрольные испытания являются, по существу, приемными испытаниями. Им подвергается 100% образцов валового производства. В ходе испытаний проверяются прочность ствола, работа противооткатных устройств, механизмов наведения, работа и качество установки прицельных устройств, крепление лейнеров, дульных тормозов, прочность лафета и т. п. Для проведения МКИ отводится около 20 выстрелов. На основании проведенных испытаний делается заключение о соответствии расчетных данных дей-

ствительным, о выполнении заводом предписанной технологии и производится прием орудий от завода.

Большие контрольные испытания проводятся в целях проверки качества продукции, выпускаемой заводом. Поэтому объем БКИ расширяется по сравнению с МКИ и включает в себя проверку прочности и работу всех механизмов орудия. БКИ подвергается определенное количество орудий от каждой партии валовой продукции. Для проведения БКИ отбираются орудия, которые вызывают какие-либо сомнения в качестве их изготовления. Лафет выбирается наиболее слабый от орудий, прошедших МКИ. На проведение испытаний отпускается 100—150 выстрелов.

Испытание на кучность обычно включается в программу больших контрольных испытаний. Прежде чем приступить к испытаниям, инженер-руководитель изучает программу испытаний и документацию на образец вооружения. В результате изучения документации уясняются назначение артиллерийского орудия и его тип, весовые, баллистические и конструктивные данные, цель испытаний, чертежи.

После изучения документации и программы испытаний составляется рабочий план проведения испытаний, проверяются материально-техническое обеспечение и образец вооружения, подлежащий испытанию. Руководит БКИ, как правило, военный представитель.

В войсковых условиях орудия подвергаются периодическим испытаниям в целях определения исправности и работоспособности противооткатных устройств после их переборки в ремонтных органах.

При испытании орудий определяются:

— действие выстрела на орудие (неподвижность и устойчивость орудия при выстреле);
— работа противооткатных устройств;
— несбиваемость наводки при выстреле;
— прочность и живучесть деталей и механизмов орудия;
— удобство обслуживания;
— скорострельность;
— ходовые параметры.

Перед испытанием орудие подвергается тщательному осмотру как в собранном, так и в разобранном виде. При этом особое внимание обращается на соединение ствола с противооткатными устройствами и на внутреннее состояние ствола. Осмотр ствола производится с помощью оптической трубы, калибр определяется по длине канала ствола с помощью звездки по двум взаимно перпендикулярным направлениям через каждые 50 мм.

Так как в процессе испытаний детали могут получить остаточные деформации, то производят не только их осмотр, но и обмер и разметку. Разметке подвергаются наиболее нагруженные и ответственные детали, такие, как ствол, противооткатные устройства, верхний и нижний станки, станины, сошники, колеса, боевая ось, пружины и т. д. При разметке наносятся риски (керны) с после-

дующим измерением расстояний между ними, которые характеризуют размеры деталей или сопряжение деталей данного узла. Изменение этого расстояния после стрельбы указывает на величину остаточной деформации в данном узле, детали.

Кроме того, величины напряжений, возникающие в некоторых деталях при работе, могут быть измерены с помощью тензометров.

ГЛАВА 19

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

§ 19.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Под эксплуатацией артиллерийского вооружения понимают его боевое использование, хранение, транспортировку, техническое обслуживание и ремонт. Следовательно, эксплуатация артиллерийских орудий начинается с момента отправления их с заводов-изготовителей и заканчивается моментом, когда ремонт орудий или невозможен, или экономически нецелесообразен.

Артиллерийские орудия при их использовании, хранении и транспортировке должны быть в боеспособном состоянии. Постоянная боеспособность, срок службы и эффективность стрельбы из орудий обеспечиваются правильной организацией всех видов их эксплуатации.

Правильная организация эксплуатации в первую очередь предусматривает твердое знание и точное выполнение обслуживающим персоналом (офицерами и орудийными расчетами) устройства и правил эксплуатации орудий при подготовке к стрельбе, на огневых позициях, после стрельбы, на марше и при хранении.

При правильной организации эксплуатации строго соблюдается следующее:

— периодичность и высокое качество проведения технического обслуживания;

— своевременность устранения выявленных неисправностей и недостатков в содержании артиллерийских орудий;

— поддержание всех эксплуатационных параметров в пределах и нормах, установленных технической документацией.

Правильная организация эксплуатации предусматривает содержание орудий в полной комплектности, своевременное и полное обеспечение их запасными частями и эксплуатационными материалами. Систематический контроль состояния орудий со стороны начальников всех степеней, которые организуют и отвечают за их эксплуатацию и боеготовность, является непременным условием правильной организации эксплуатации.

Одним из важных мероприятий по организации эксплуатации

артиллерийских орудий является вопрос планирования эксплуатации, которое подразделяют на текущее и перспективное.

Текущее планирование эксплуатации обеспечивает поддержание артиллерийских систем в постоянной боевой готовности за счет:

— правильного их использования в пределах установленных годовых норм расхода ресурсов для полного и своевременного выполнения задач боевой подготовки;

— своевременного проведения технического обслуживания вооружения и равномерного выхода его в ремонт;

— постоянного контроля технического состояния, содержания и хранения артиллерийских орудий.

Текущее планирование эксплуатации производится по годовым планам эксплуатации. Основными исходными данными для разработки годового плана эксплуатации служат:

— потребность орудий для обеспечения плана боевой подготовки;

— наличие и техническое состояние орудий;

— межремонтные сроки эксплуатации орудий;

— периодичность проведения технических обслуживаний.

Для обеспечения равномерного выхода орудий в ремонт разрабатывается перспективный план (на 8—10 лет) эксплуатации и ремонта, в котором указывается ориентировочный расход ресурсов по годам исходя из отпускаемых лимитов и в соответствии с этим намечается год отправки системы в ремонт. Одновременный выход в ремонт одноименных систем не должен быть более 10—15% в год. Чтобы выполнить это условие, необходимо годовой расход ресурсов одноименных систем планировать по следующим зависимостям:

$$r_1 = r_{1ср} - \Delta r_1 \frac{n-1}{2}; \qquad (19.1)$$

$$r_i = r_1 + \Delta r_1 (i-1), \qquad (19.2)$$

где r_1 — годовой расход ресурсов первой системы;

$r_{1ср}$ — средний годовой расход ресурсов одной системы;

i — номер системы;

n — число систем;

Δr_1 — уступ в годовом расходе ресурсов (разница в годовом расходе ресурсов $i+1$ и i-й системы):

$$\Delta r_1 = \frac{r_{1ср}}{\frac{R_{кр} n к}{r_{1ср}} - \frac{n-1}{2}},$$

где $R_{кр}$ — запас ресурсов системы до капитального ремонта;

к — процент выхода систем в ремонт в течение одного года.

Соотношения (19.1) и (19.2) позволяют быстро и просто решать различные задачи перспективного планирования эксплуатации артиллерийских систем при различных начальных условиях.

Правильное перспективное планирование эксплуатации артиллерийских орудий обеспечивает высокую боевую готовность частей и равномерную загрузку ремонтных органов.

Важным мероприятием организации эксплуатации артиллерийского вооружения является вопрос учета расхода ресурсов, времени проведения технических обслуживаний и ремонтов, обобщения и распространения передового опыта эксплуатации вооружения.

Текущий учет расхода ресурсов артиллерийских систем в течение месяца ведется в журналах произвольных форм и ежемесячно заносится в формуляр.

§ 19.2. ОСМОТРЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Осмотры артиллерийских орудий проводят в целях контроля их технического состояния и эксплуатации. При осмотрах в основном определяют боеспособность артиллерийских систем, их техническое и качественное состояние, правильность ухода, сбережения, хранения и использования, своевременность и качество ремонта, соответствие комплектации, своевременность и правильность ведения эксплуатационной документации, а также знание личным составом устройства артиллерийских орудий, правил их подготовки к стрельбе и маршу, сбережения и ухода за ними.

Осмотры артиллерийских систем в воинских частях проводят по плану в соответствии с требованиями УВС СССР. Кроме осмотров должностными лицами проводят осмотры орудий при инспекторских проверках.

Для уменьшения времени и улучшения качества осмотра его рекомендуется проводить в такой последовательности:

— проверка наличия и правильности ведения технической и эксплуатационной документации (формуляра, паспорта);

— осмотр ствола;

— подготовка к осмотру и проверка на функционирование механизмов затвора;

— осмотр люльки и противооткатных устройств;

— осмотр верхнего станка;

— осмотр и проверка на функционирование механизмов наведения и уравновешивающего механизма;

— проверка хода и механизма подрессоривания;

— проверка противооткатных устройств;

— проверка прицельных приспособлений;

— осмотр и проверка шанцевого инструмента;

— осмотр и проверка ЗИП.

Во всех случаях осмотр должен быть не только средством контроля, но также способом обучения личного состава подразделений и воспитания у них чувства ответственности за вверенное ему вооружение. Все выявленные при осмотре неисправности должны быть устранены силами расчета или ремонтной мастерской. Результаты инспекторских осмотров орудий, осмотры командиром

и начальником службы артиллерийского вооружения воинской части объявляются в приказе с выводами и практическими указаниями по устранению выявленных недостатков.

Под техническим обслуживанием понимается комплекс мероприятий, направленных на сохранение и восстановление боеспособности орудий и проводимых в целях своевременного предупреждения и устранения причин, которые вызывают преждевременный износ и отказы его механизмов, узлов и агрегатов при использовании, транспортировке и хранении.

В основу технического обслуживания орудий принята планово-предупредительная система. Планово-предупредительная система технического обслуживания заключается в том, что в зависимости от установленной наработкой орудия или по истечении определенного календарного времени эксплуатации планируется проведение технических обслуживаний, т. е. техническое обслуживание планируется и проводится принудительно в заранее установленные сроки.

Планово-предупредительная система включает в себя следующие виды обслуживания:

— контрольный осмотр (КО);
— текущее обслуживание (ТеО);
— техническое обслуживание № 1 (ТО-1);
— техническое обслуживание № 2 (ТО-2);
— сезонное обслуживание (СО).

Контрольный осмотр (КО) проводится в целях обеспечения безотказной работы вооружения перед вводом его в рабочий режим эксплуатации (транспортировка, использование по назначению). Поэтому контрольный осмотр проводится перед маршем, на марше (во время остановок, привалов) и перед использованием (стрельба, занятие, учение). Во всех случаях содержание и объем контрольного осмотра будут различными. Так, например, перед выходом артиллерийских орудий из парка и на марше особое внимание обращается на состояние:

— сцепных устройств и механизмов стопорения по-походному;
— ходовой части, тормозов, светомаскировочных приборов;
— крепления комплектующего оборудования, ЗИП, чехлов, крышек, люков и т. п.

При контрольном осмотре артиллерийских орудий перед стрельбой выполняются следующие работы:

— осмотр орудия и проверка работы механизмов орудия;
— проверка противооткатных устройств;
— проверка прицельных приспособлений.

Контрольный осмотр проводится силами расчета. Содержание контрольных осмотров и последовательность их выполнения для конкретных артиллерийских систем указываются в руководствах служб и инструкциях по эксплуатации.

Текущее обслуживание (ТеО) проводится в целях сбережения орудия и ухода за ним, а также выявления и устранения внезапных отказов. Оно проводится после использования орудия по на-

значению, после марша, а также не реже одного раза в две недели, если орудие не использовалось по назначению. ТеО проводится на площадках технического обслуживания силами расчета и включает в себя следующие основные работы:

— чистку, мойку, удаление нагара и продуктов коррозии с поверхностей деталей и узлов орудий;

— чистку канала ствола раствором РЧС и смазывание его;

— дозаправку эксплуатационными материалами;

— чистку и просушку чехлов;

— проверку отсутствия течи жидкости и утечки газа в противооткатных устройствах и в уравновешивающем механизме;

— обновление загрязненной смазки и смазку орудия согласно карте смазки;

— устранение выявленных неисправностей и недостатков и т. п.

Техническое обслуживание № 1 (ТО-1) проводится в целях проверки технического состояния орудия и его отдельных узлов и механизмов в разобранном виде, устранения выявленных неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации и подготовки орудия к дальнейшей эксплуатации.

Техническое обслуживание № 1 орудия проводится как после произведенного определенного количества выстрелов или наработки установленных технических ресурсов, так и после определенного срока хранения, если оно не использовалось по назначению. Главное внимание при ТО-1 уделяется осмотру, проверке работы узлов и механизмов орудия, регулировкам, крепежным работам, замене негодных деталей и эксплуатационных материалов. Многие узлы и механизмы орудия имеют сроки службы, значительно большие, чем сроки между ТО-1, поэтому их не следует разбирать и подвергать без необходимости регулировкам, так как лишние разборки и регулировки вредны.

Техническое обслуживание № 1 проводится силами расчета с привлечением специалистов ремонтной мастерской части на пункте технического обслуживания. Содержание и последовательность выполнения работ при ТО-1 для конкретных артиллерийских систем излагаются в руководствах службы и инструкциях по эксплуатации.

Основными работами при ТО-1 артиллерийских орудий являются:

— работы, предусмотренные текущим обслуживанием;

— проверка работы механизмов наведения при переводе ствола в крайние положения с замером усилия на маховике; мертвого хода механизма, вертикальной и горизонтальной шаткости ствола;

— проверка давления газа в противооткатных устройствах и в пневматических уравновешивающих механизмах;

— проверка количества жидкости в противооткатных устройствах и в пневматических уравновешивающих механизмах;

— осмотр, чистка штоков и запоршневых частей цилиндров противооткатных устройств, досылателей и уравновешивающих механизмов;

— проверка состояния смазки и деталей под смазкой;

— удаление пришедшей в негодность краски, очистка оголенных участков, обезжиривание, восстановление окраски, при необходимости окраска орудия в один слой;

— проверка комплектности ЗИП и технической документации;

— замена негодных деталей из комплектов орудийного и батарейного ЗИП;

— устранение обнаруженных неисправностей;

— полная проверка прицельных приспособлений.

Среднее время, затрачиваемое на проведение ТО-1, определяется по формуле

$$t_{\text{ТО-1}} = t_{\text{ТеО}} + \Delta t_{\text{ТО-1}},$$

где $t_{\text{ТеО}}$ — среднее время, затрачиваемое на проведение ТеО;

$\Delta t_{\text{ТО-1}}$ — среднее время, затрачиваемое на проведение работ, характерных только для ТО-1.

Техническое обслуживание № 2 (ТО-2) проводится для полной проверки технического состояния артиллерийских орудий с полной разборкой узлов и механизмов в целях предупреждения появления при эксплуатации постоянных отказов у более долговечных деталей, сопряжений, которые не подвергаются профилактике при ТО-1. Техническое обслуживание № 2 для артиллерийских орудий проводится не реже одного раза в три года и перед постановкой их на длительное хранение.

Срок проведения ТО-2 обычно совмещают с последним очередным ТО-1.

Содержание работ при ТО-2 усложняется, так как проверке подвергаются все узлы и механизмы орудия, поэтому техническое обслуживание № 2 проводится квалифицированными специалистами в ремонтных мастерских с привлечением расчета, который выполняет вспомогательные операции.

Техническое обслуживание № 2 предусматривает следующие основные работы:

— работы, предусмотренные для технического обслуживания № 1;

— полную разборку, сборку и регулировку механизмов и узлов орудия;

— проверку противооткатных устройств;

— ремонт неисправных и замену изношенных деталей, окраску орудия в один слой;

— консервацию системы при постановке на длительное хранение;

— категорирование артиллерийского орудия.

Объем работ ТО-2 и последовательность их выполнения для конкретных образцов артиллерийских систем излагаются в руководствах службы и инструкциях по эксплуатации.

Среднее время, затрачиваемое на проведение ТО-2, определяется по формуле

$$t_{\text{ТО-2}} = t_{\text{ТеО}} + \Delta t_{\text{ТО-1}} + \Delta t_{\text{ТО-2}} = t_{\text{ТеО}} + \Delta t_{\text{ТО-1}} + \Delta t_{\text{ТО-2}},$$

где $\Delta t_{\text{ТО-2}}$ — среднее время, затрачиваемое на проведение операций, характерных только для ТО-2.

Сезонное обслуживание (СО) проводится два раза в год для подготовки артиллерийских орудий к осенне-зимнему и весенне-летнему периодам эксплуатации. Необходимость проведения этого вида обслуживания вызывается большим различием в климатических условиях эксплуатации в летний и зимний периоды.

При сезонном обслуживании основное внимание уделяется осмотру, настройке, регулировке и подготовке к эксплуатации тех узлов и механизмов, работа которых зависит от климатических условий. Сезонное обслуживание, как правило, совмещается с очередным техническим обслуживанием № 1 или № 2. Работы по сезонному обслуживанию проводятся или расчетом, или специалистами ремонтных мастерских в зависимости от вида совмещенного технического обслуживания.

При сезонном обслуживании выполняются работы, предусмотренные для совмещенного очередного технического обслуживания № 1 или № 2, и следующие специальные работы:

— переборка узлов и механизмов с заменой смазки;

— промывка и подзарядка аккумуляторных батарей;

— заливка электролита, плотность которого должна соответствовать условиям предстоящего периода эксплуатации;

— полная проверка прицельных приспособлений;

— проверка наличия ЗИП и при необходимости его доукомплектование.

Среднее время, затрачиваемое на проведение сезонного обслуживания, совмещенного с ТО-1, $t^*_{\text{ТО-1}}$ определяется по формуле

$$t^*_{\text{ТО-1}} = t_{\text{ТеО}} + \Delta t_{\text{ТО-1}} + \Delta t_{\text{СО}},$$

а при совмещении с ТО-2

$$t^*_{\text{ТО-2}} = t_{\text{ТеО}} + \Delta t_{\text{ТО-1}} + \Delta t_{\text{ТО-2}} + \Delta t_{\text{СО}},$$

где $\Delta t_{\text{СО}}$ — среднее время, затрачиваемое на проведение операций, характерных только для СО.

Техническое обслуживание самоходно-артиллерийских орудий в войсках проводится комплексно, т. е. работы выполняются одновременно как на артиллерийской, так и на базовой части.

При организации технического обслуживания орудий необходимо предусмотреть поддержание определенной степени боевой готовности части. Ответственность за своевременное техническое обслуживание артиллерийских орудий возлагается на командиров частей, которые при всех условиях обязаны обеспечить проведение обслуживания в установленные сроки.

Артиллерийские орудия, прошедшие техническое обслуживание, должны быть:

— технически исправными, полностью укомплектованными, чистыми и смазанными;

— с отрегулированными узлами и механизмами и проверенными контрольно-измерительными приборами.

Проведение всех видов технического обслуживания (кроме контрольного осмотра, текущего обслуживания) отмечается в формуляре орудия.

Формуляром орудия называется документ установленной формы, в котором отражаются качественное состояние орудия и сведения по его эксплуатации (число выстрелов, сведения о техническом обслуживании и др.).

Записи в формуляре производятся:

— на заводе после изготовления орудия на заводских испытаниях;

— в войсках при эксплуатации орудия;

— в ремонтных органах после выполнения ремонтных работ.

Инспектирующие лица заносят в формуляры заключения о результатах проверки образца.

§ 19.3. ХРАНЕНИЕ И СБЕРЕЖЕНИЕ

Продолжительность службы артиллерийских орудий в значительной степени зависит от организации их сбережения.

Под сбережением орудий понимается ряд мероприятий, направленных на сохранность их качественного состояния. К этим мероприятиям относят чистку, смазывание, окраску и консервацию. Для удаления старой смазки, грязи, ржавчины и порохового нагара производят чистку орудия. Наружные поверхности орудия очищаются от пыли, грязи и старой смазки, а в случае сильного загрязнения обмываются водой, после чего насухо вытираются. Стволы и затворы чистят раствором РЧС или керосином. Чистка раствором РЧС производится при температурах 323—263° К. При более низких температурах раствор РЧС замерзает, а при более высоких разлагается на углекислый газ, воду и аммиак, поэтому при температуре окружающего воздуха ниже 263° К для чистки канала ствола применяют керосин, а при температурах выше 323° К — мыльную воду.

Вычищенные керосином или мыльной водой каналы стволов при первой возможности должны повторно чиститься раствором РЧС. Раствор РЧС (в 1 л воды растворяется 200 г углекислого аммония (NH_3CO_3), 5—10 г двухромовокислого калия ($K_2Cr_2O_7$) — хромпик) частично растворяет нагар, разрыхляя его при этом. Нерастворенная часть нагара удаляется щеткой банника механическим путем. Омеднение канала ствола также удаляется, так как раствор РЧС растворяет налет меди. Чистку канала ствола раствором РЧС производят в день стрельбы после остывания ствола. Смазку канала ствола после стрельбы не производят.

Чистку канала ствола раствором РЧС производят в такой последовательности:

1. Придают стволу угол склонения 2—3°. Берут щетку банника для чистки раствором РЧС, навинчивают ее на древко банника и обильно смачивают ее раствором РЧС. Вводят банник в канал ствола и протирают внутреннюю поверхность короткими движениями банника вперед и назад на участке длиной около 1 м. Затем банник вынимают, щетку его снова смачивают свежим раствором РЧС и чистку производят на следующем участке канала ствола и т. д. до тех пор, пока не будет полностью вычищен весь канал ствола. Далее щеткой банника, смоченной свежим раствором, производится 5—10 движений на всю длину ствола. Если ствол хорошо вычищен, то из него при этом вытекает раствор светло-желтого цвета. Во время чистки загрязненный раствор собирают в ведро, поставленное под дульным срезом. По окончании чистки канал ствола протирают насухо ветошью и осматривают его. После этого протирают весь канал ствола контрольной салфеткой. Если на салфетке нет следов нагара, а в канале не видно омеднения, чистку заканчивают, в противном случае чистка повторяется.

По окончании чистки канала ствола чистят гнездо для клина (поршня) затвора, проушины, пазы и отверстия механизмов затвора.

Вычищенный канал ствола покрывают тонким слоем смазки ГОИ-54П. Для этого на щетку банника, предназначенного только для чистого смазывания, наматывают пропитанную смазкой чистую плотную ветошь или наносят смазку деревянной лопаткой непосредственно на щетку банника и пропускают ее несколько раз от казенной части к дулу и обратно. Смазку наносят так, чтобы вся поверхность канала ствола (особенно углы нарезов) была смазана ровным тонким слоем.

Для чистки внутренней части люльки, направляющих полосков и захватов ствола производят искусственный откат ствола, соблюдая при этом необходимые меры безопасности.

Лафет смазывают после его чистки. В лафете необходимо смазывать все механизмы и все трущиеся и неокрашенные или с поврежденной окраской поверхности. Смазку наносят на сухие вычищенные поверхности деревянными лопаточками или ветошью, пропитанной смазкой, а также специальными масленками.

Ходовые части смазывают при сборке солидолом, и в дальнейшем количество солидола пополняют. Резиновые детали следует предохранять от попадания на них смазки, керосина, бензина, кислот и щелочей, так как эти вещества разрушают ее.

Для исключения появления и развития коррозии необходимо периодически осматривать штоки и цилиндры противооткатных устройств и пневматических уравновешивающих механизмов, особенно в местах их соприкосновения с воротниками и сальниковыми уплотнениями. Осмотр, проверку и чистку противооткатных устройств производят при искусственном откате. При осмотре и

чистке штоков к их поверхности следует прикасаться руками, одетыми в резиновые или миткалевые перчатки.

Полировать, шлифовать или зачищать хромированные поверхности, даже имеющие потемнения, категорически запрещается.

Потемневшие участки штоков и цилиндров должны быть вычищены чистой (хлопчатобумажной) ветошью.

Для чистки и смазывания артиллерийских орудий применяются следующие материалы и принадлежности:

— пакля, бумажные концы, ветошь, салфетки;

— раствор РЧС, керосин;

— смазка ГОИ-54П, солидол, графитовая смазка;

— деревянные шесты из твердого и несмолистого дерева на полтора метра длиннее ствола, диаметром 70—80 мм для орудий калибром 100 мм и выше;

— деревянные пыжи длиной около двух калибров и диаметром на один сантиметр меньше калибра ствола; пыжи изготовляют из твердого и несмолистого дерева по два на орудие. На боковой поверхности пыжа делаются кольцевые выточки, чтобы при пробивании его через канал он не выскальзывал из навернутой на него ветоши;

— комплектный банник, состоящий из щетки и штанги банника; щетки банников распределяются в батарее согласно предназначению: для промывания канала ствола раствором РЧС, мыльной водой или керосином; для смазывания ствола по нагару; для смазывания чистого канала ствола; запасные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. М., Госиздат, ф-м литературы, 1962.

2. Головко Е. П. и др. Основания устройства и эксплуатации орудий наземной артиллерии. ВАА, 1971.

3. Гордиенко Н. И., Жуков И. И., Осипович Б. Н. Теория и расчет артиллерийских орудий. ПВАИУ, 1967.

4. Клюев А. И. Боеприпасы артиллерии. ВАКА, 1959.

5. Куприянов А. Н. Основы проектирования артиллерийских орудий. ПВАИУ, 1960.

6. Куприянов А. Н. Проектирование и производство артиллерийских систем, ч. II. М., Арт. академия, 1948.

7. Ларман Э. К. Проектирование и производство артиллерийских систем, ч. I. М., Воениздат, 1949.

8. Мучник А. Я., Парфенов К. А. Общая электротехника. М., «Высшая школа», 1967.

9. Самусенко М. Ф. Основания проектирования вооружения самоходно-артиллерийских установок и танков. 1951.

10. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. М., Оборонгиз, 1962.

11. Чудилин Н. М. Основы теории артиллерийских оптических и электронно-оптических приборов. Л., 1956.

12. Поправочные формулы внутренней баллистики. М., Воениздат, 1956.

13. Таблицы внутренней баллистики, ч. I, II, III, IV. М., Воениздат, 1942—1943.

14. Добровольский В. А. и др. Детали машин. М., «Машиностроение», 1972.

15. Орлов Б. В. и др. Проектирование ракетных и ствольных систем. М., «Машиностроение», 1974.

16. Эксплуатация реактивных и артиллерийских систем. М., Воениздат, 1973.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
§ 1. Принцип устройства и действия орудия	—
§ 2. Основные характеристики орудия	5
§ 3. Классификация и требования, предъявляемые к артиллерийским орудиям	6
§ 4. История развития советской артиллерии	11
Раздел I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ	
Глава 1. Основные зависимости пиростатики	16
§ 1.1. Явление выстрела	—
§ 1.2. Параметры внутренней баллистики	20
§ 1.3. Горение пороха	26
§ 1.4. Образование пороховых газов	29
§ 1.5. Давление пороховых газов в постоянном объеме	33
Глава 2. Основные зависимости пиродинамики	36
§ 2.1. Расширение пороховых газов	—
§ 2.2. Движение снаряда в канале ствола	39
§ 2.3. Работы, совершаемые пороховыми газами	43
§ 2.4. Последействие пороховых газов	47
Глава 3. Основная задача внутренней баллистики	50
§ 3.1. Система уравнений внутренней баллистики	—
§ 3.2. Решение основной задачи	54
§ 3.3. Таблицы внутренней баллистики	58
§ 3.4. Поправочные формулы внутренней баллистики	64
Раздел II. ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКЦИЯ БОЕПРИПАСОВ	
Глава 4. Общие сведения о боеприпасах	70
§ 4.1. Назначение боеприпасов и требования, предъявляемые к ним	—
§ 4.2. Принципы устройства выстрелов	73
§ 4.3. Комплектация выстрелов	78
§ 4.4. Окраска и маркировка боеприпасов	80
Глава 5. Силы, действующие на элементы боеприпасов	83
§ 5.1. Силы, действующие при выстреле	—
§ 5.2. Силы, действующие в полете	86
§ 5.3. Силы, действующие при встрече с целью	90

Стр.

Глава 6. **Артиллерийские снаряды** 94

§ 6.1. Конструкция и характеристики снарядов . . . . . —
§ 6.2. Ударное действие снарядов 99
§ 6.3. Осколочное действие снарядов 104
§ 6.4. Фугасное действие снарядов 108
§ 6.5. Действие кумулятивных снарядов 110
§ 6.6. Действие снарядов специального назначения 114

Глава 7. **Взрыватели** 118

§ 7.1. Ударные взрыватели . . . . . —
§ 7.2. Дистанционные и неконтактные взрыватели 122
§ 7.3. Действие взрывателей 124
§ 7.4. Условия безопасности и взводимости взрывателей 128

Глава 8. **Боевые заряды** 132

§ 8.1. Пороховые заряды . . . . . —
§ 8.2. Гильзы 136
§ 8.3. Средства воспламенения 138

Глава 9. **Эксплуатация боеприпасов** 141

§ 9.1. Хранение и сбережение боеприпасов . . . . . —
§ 9.2. Эксплуатация боеприпасов на огневой позиции 143

Раздел III. ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКЦИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

Глава 10. **Орудийные стволы** 146

§ 10.1. Типы и конструкция стволов . . . . . —
§ 10.2. Силы, действующие на ствол при выстреле 161
§ 10.3. Предел упругого сопротивления ствола-моноблока 171
§ 10.4. Расчет ствола-моноблока на прочность 180
§ 10.5. Эксплуатация стволов 184

Глава 11. **Затворы** 193

§ 11.1. Типы и конструкции затворов . . . . . —
§ 11.2. Запирающие механизмы 195
§ 11.3. Ударные и спусковые механизмы 205
§ 11.4. Выбрасывающие механизмы 208
§ 11.5. Полуавтоматика 211
§ 11.6. Предохранительные и вспомогательные механизмы 215
§ 11.7. Эксплуатация затворов 217

Глава 12. **Действие выстрела на артиллерийское орудие** 219

§ 12.1. Устойчивость и неподвижность орудия при откате . . . . —
§ 12.2. Свободный откат ствола 229
§ 12.3. Дульный тормоз и его влияние на откат ствола 235
§ 12.4. Торможенный откат 241
§ 12.5. Устойчивость и неподвижность орудия при накате 250

Глава 13. **Противооткатные устройства** 255

§ 13.1. Накатники 257
§ 13.2. Гидравлические тормоза отката 268
§ 13.3. Накат ствола 289
§ 13.4. Основы эксплуатации противооткатных устройств 297

Стр.

Глава 14. **Уравновешивающие механизмы. Механизмы наведения** . . . 320

§ 14.1. Уравновешивающие механизмы . . . . . —
§ 14.2. Механизмы наведения 335
§ 14.3. Электрические приводы 355
§ 14.4. Эксплуатация механизмов 359

Глава 15. **Ходовые части артиллерийских орудий и вспомогательное оборудование лафета** 362

§ 15.1. Лафеты . . . . . —
§ 15.2. Ход и подрессоривание 365
§ 15.3. Вспомогательное оборудование 371

Глава 16. **Прицелы** 373

§ 16.1. Типы прицелов и требования, предъявляемые к ним . . . . —
§ 16.2. Механические прицелы 379
§ 16.3. Оптические прицелы и визиры 397
§ 16.4. Ночные прицелы 405
§ 16.5. Эксплуатация прицелов 414

Глава 17. **Самоходные артиллерийские орудия** 424

§ 17.1. Общие сведения . . . . . —
§ 17.2. Особенности устройства артиллерийской части самоходных орудий 427
§ 17.3. Действие выстрела на самоходное орудие 436

Глава 18. **Разработка, испытание и принятие орудий на вооружение** 441

§ 18.1. Порядок разработки орудий . . . . . —
§ 18.2. Испытания орудий 443

Глава 19. **Эксплуатация артиллерийских орудий** 446

§ 19.1. Организация эксплуатации . . . . . —
§ 19.2. Осмотры и технические обслуживания 448
§ 19.3. Хранение и сбережение 453

Литература 456

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И КОНСТРУКЦИЯ ОРУДИЙ И БОЕПРИПАСОВ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Редактор полковник *Соколов И. А.*

Технический редактор *Коновалова Е. К.*

Корректор *Чернакова Г. И.*

Г-81293 Сдано в набор 20.1.75 Подписано к печати 30.8.76

Формат 60×90¹/₁₆. Печ. л. 28³/₄. Усл. п. л. 28,75. Уч.-изд. л. 28,753

Изд. № 5/2653 *Бесплатно* Зак. 521

Воениздат

103160, Москва, К-160

2-я типография Воениздата

191065, Ленинград, Д-65, Дворцовая пл., 10